

N° D'ORDRE :

61

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ
DE MONTPELLIER

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

Paul LAMARQUE

DOCTEUR EN MÉDECINE

PROFESSEUR A LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE
MONTPELLIER

CHARGÉ DE L'ENSEIGNEMENT DE LA RADIOLOGIE

1^{re} THÈSE. — APPLICATION DES RAYONS X A L'ÉTUDE DES OBJETS
MICROSCOPIQUES.

2^e THÈSE. — L'ANALYSE CHIMIQUE DES CORPS PAR LES RAYONS X.

Soutenues le Octobre 1937 devant la Commission d'examen

MM. GODECHOT, doyen,	<i>Président</i>
REBOUL, professeur,	{ <i>Examineurs</i>
BOUHET, professeur,	

IMPRIMERIE ELIE MAZEL

— L'ARGENTIÈRE (ARDÈCHE) —

1937



Digitized by the Internet Archive
in 2026

N^o D'ORDRE :

61

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ
DE MONTPELLIER

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

Paul LAMARQUE

DOCTEUR EN MÉDECINE

PROFESSEUR A LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE

MONTPELLIER

CHARGÉ DE L'ENSEIGNEMENT DE LA RADIOLOGIE

1^{re} THÈSE..— APPLICATION DES RAYONS X A L'ÉTUDE DES OBJETS
MICROSCOPIQUES.

2^e THÈSE. — L'ANALYSE CHIMIQUE DES CORPS PAR LES RAYONS X.

Soutenues le **Octobre 1937** devant la Commission d'examen

MM. GODECHOT, doyen,	<i>Président</i>
REBOUL, professeur,	{ <i>Examineurs</i>
BOUHET, professeur,	

IMPRIMERIE ELIE MAZEL

— LARGENTIÈRE (ARDÈCHE) —

1937

FACULTÉ DES SCIENCES

DE

L'UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER

MM.

Doyen..... M. GODECHOT, Correspondant de l'Institut, Professeur de Chimie.

Doyen honoraire S. DAUTHEVILLE.

Professeurs honoraires.. { E. FABRY, O. DUBOSCQ, J. CURIE, F. BEAU-
LARD, DE LENAIZAN et E. BATAILLON.

Maître de Conférence honoraire..... M. F. MOURGUES.

MM.

<i>Professeurs.</i>	{	GODECHOT, <i>Correspond^t de l'Institut</i> Chimie.
		J. CABANNES, <i>Corresp^t de l'Institut</i> .. Physique.
		G. REBOUL..... Physique.
		E. TURRIERE..... Mécanique rationnelle
		P. HUMBERT..... Mathématiques pures.
		E. CHATTON, <i>Corresp^t de l'Institut</i> .. Zoologie et Biologie générale.
		L. GAY..... Chimie.
		J. SOULA..... Mathématiques.
		E. CARRIERE..... Chimie
		J. DURAND..... Chimie.
		Ch. BOUHET..... Minéralogie.
		P. MATHIAS..... Zoologie.
M. THORAL, <i>Chargé de Chaire</i> ... Géologie.		

MM.

Secrétaire..... A. BABY.

Secrétaire honoraire..... L. DUBOIS.

Membres du Jury :

M. GODECHOT..... *Président.*

M. REBOUL	{	<i>Assesseurs</i>
M. BOUHET		



APPLICATION DES RAYONS X
A
L'ÉTUDE DES OBJETS MICROSCOPIQUES

HISTORADIOGRAPHIE
ET
RADIOMICROPHOTOGRAPHIE

PAR
Paul LAMARQUE



A MA FEMME,

A MES ENFANTS.

INTRODUCTION

La radiographie n'est guère connue que dans ses applications industrielles et médicales où les objets examinés sont de dimension relativement grande. Dans tous ces cas la diffusion des rayons X, et la superposition des images entraînent toujours un flou plus ou moins important, de telle sorte qu'il n'y a pas intérêt, dans la plupart des cas, à utiliser des appareils grossissants pour examiner les détails de l'image puisque ces détails n'apparaissent pas sur la radiographie.

Les méthodes utilisant la diffraction des rayons X par les cristaux, par les poudres et par la matière en général, permettent chaque jour de pénétrer davantage dans le monde inconnu des corps de dimensions ultra-microscopiques ; c'est ainsi que l'on a pu connaître la forme de la plupart des molécules, leur arrangement, la disposition des atomes dans les molécules.

Entre, d'une part les plus grosses molécules connues, qui atteindraient des dimensions voisines du seuil de perception des appareils optiques les plus puissants, et d'autre part les petits objets qui commencent à échapper à la vision de l'œil nu, il y avait un domaine complètement inexploré par les rayons X. C'est dans cette région que nous nous sommes cantonnés en étudiant par les rayons de Roentgen des objets de dimension microscopique.

A cause de la dimension importante des grains, nous n'avons pu, pour le moment, utiliser les écrans fluorescents et c'est à la radiographie que nous nous sommes adressé. Nous avons donc fait de la « *microradiographie* ».

Il est inutile de rappeler les principes de la radiographie ; nous savons qu'elle est basée sur l'inégalité de transparence aux rayons X du corps à explorer et sur la sensibilité, à ces mêmes rayons, des émulsions photographiques.

Nous avons donc eu l'idée d'utiliser les phénomènes d'absorption pour les rayons X, dans le but d'étudier, sans modifier leur répartition, dans le milieu où ils se trouvaient les corps complexes, trop petits ou en trop faible quantité pour être isolés et soumis aux méthodes classiques de l'analyse chimique. Mais étant donné les conditions dans lesquelles nous nous sommes placés nous avons été dans l'obligation d'utiliser des rayons X très mous et c'est dans l'utilisation radiographique de ce rayonnement X de grande longueur d'onde que réside à la fois l'originalité et l'intérêt de la méthode qui fait l'objet de ce travail.

Tout en reconnaissant que les recherches pouvaient intéresser des domaines beaucoup plus vastes, nous les avons jusqu'ici poussées vers l'étude de la cellule vivante et plus particulièrement de la cellule animale. L'exploration de la cellule isolée est encore presque complètement restée dans le cadre morphologique. Sa petitesse et son extrême fragilité en rendent l'exploration ardue. Il serait cependant nécessaire de mieux connaître ce petit élément qui renferme en lui-même le problème de la vie, de la maladie et de la mort.

Jusqu'à ce jour, les méthodes qui ont pour but d'étudier le chimisme cellulaire, et qui constituent cette branche particulière de l'histophysiologie qu'est l'histochimie, sont limitées ; beaucoup de résultats sont encore incertains, nous avons pensé que peut-être l'étude radiographique de la cellule vivante pourrait apporter aux histologistes des renseignements nouveaux susceptibles de faire progresser leurs travaux.

Enfin, il est un problème particulièrement captivant à éclaircir qui intéresse au même degré le médecin et le physicien : c'est celui de la radiosensibilité de la cellule vivante : les rayons X ont une action caustique sur la cellule ; ils la détruisent et cette destruction est le fondement même de la radiothérapie. Mais on sait que les cellules vivantes sont inégalement sensibles ; le peu de sensibilité que présentent certaines cellules n'est-il pas dû simplement au fait que celles-ci absorbent moins de rayons ? Comme l'absorption est fonction de la

densité du corps traversé, on devrait trouver une plus grande transparence aux rayons X dans les cas de moindre sensibilité. Et c'est là une des questions qui nous a également préoccupé et sur laquelle nos méthodes paraissent apporter quelques renseignements.

Nous devons dire que d'autres avant nous s'étaient occupés de la question et c'est DAUVILLIER qui le premier a réussi à faire une radiographie de cellule. Mais à notre connaissance cet auteur n'a jamais obtenu de radiographie de cellule animale. Partant de ses travaux et de ses recherches, nous avons réussi, en modifiant sa technique, à obtenir, avec régularité et dans des conditions qui nous semblent meilleures, de très belles images de tissus et de cellules prises sur l'homme et sur les animaux.

Avant DAUVILLIER, un médecin français, le Dr GOBY, avait essayé d'étudier de petits objets à l'aide des rayons de Roentgen, et il avait appelé sa méthode : la microradiographie. A vrai dire, il manquait à cet auteur l'émulsion photographique spéciale dont nous parlerons plus loin et qui est indispensable pour faire des études très fines. Aussi s'est-il adressé seulement à de petits animaux, (des mollusques par exemple), qui représentent malgré tout des dimensions bien supérieures à celles des objets que nous nous sommes proposés d'étudier. D'un autre côté sa méthode ne différait pas sensiblement des méthodes radiographiques ordinaires (1). Il utilisait un tube radiographique scellé qui ne laissait forcément passer que des rayons X déjà très pénétrants par rapport à ceux qu'utilisait DAUVILLIER et que nous employons nous-même. GOBY a réussi dans le même ordre d'idées des radiographies stéréoscopiques (2). Les travaux de cet auteur, bien que très intéressants, n'ont pas eu une grande portée car les objets examinés

(1) GOBY. — Une application nouvelle de Rayons X : la microradiographie C.R.A.S. — 3 mars 1915, tome 156, page 686.

(2) La microradiographie stéréoscopique en relief et pseudo-relief. La stéréomicroradiographie C.R.A.S. — 23 Fév. 1925, page 735.

étaient trop gros et trop épais. La diffusion et surtout les superpositions étaient trop importantes ; enfin ses clichés ne supportaient qu'un faible grossissement.

DAUVILLIER (1) utilisa tout d'abord des émulsions colloïdales comme celles de TAUPENOT et de GOLBERG ; ces dernières ne lui donnant pas entière satisfaction, il s'adressa aux émulsions de LIPPMANN, les mêmes que ce dernier physicien avait imaginées pour la photographie interférentielle. Après avoir eu l'idée d'employer le rayonnement γ pour obtenir des photographies d'objets très minces, il trouva que les rayons X mous étaient préférables. Pour les produire, il se servit du tube qu'il avait imaginé pour l'analyse cristalline et que nous décrirons plus loin, car c'est cet appareil que nous avons eu en mains au début de nos recherches.

Opérant sous une tension de 7 K.V. et avec une intensité de 80 milliampères, DAUVILLIER obtenait en deux heures d'exposition quelques beaux clichés de coupes végétales. Malgré la durée de l'exposition, son cliché devait être renforcé à l'argent.

C'est le travail de DAUVILLIER qui nous incita à poursuivre notre étude. Mais nous pûmes dès le début constater que si la radiographie de coupes végétales de faible épaisseur était relativement facile, il n'en était pas de même pour les coupes de tissus et de cellules qui personnellement nous intéressaient et c'est ce qui nous entraîna à modifier sensiblement la technique.

Au cours des recherches que nous avons poursuivies de 1931 à 1936, nous avons eu à surmonter deux difficultés d'ordre très différent que nous exposerons toutes deux en détail. La première est d'ordre purement photographique ; la seconde d'ordre physique est relative à la production et la manipulation d'un faisceau relativement homogène de rayons X très mous. Les solutions satisfaisantes que nous avons pu obtenir et qui nous ont conduit à des résultats convenables ne l'ont pas

(1) DAUVILLIER. — Réalisation de la microradiographie intégrale C.R.A.S. 2 Juin 1930, page 1287.

été en bloc, mais au cours de nos recherches, nous avons été successivement appelé à porter notre attention tantôt sur la question photographique, tantôt sur la question des rayons. Aujourd'hui encore, nous avons en vue de nouvelles améliorations de la technique.

Depuis la publication de nos recherches (1), nous avons eu connaissance d'un travail publié postérieurement au nôtre, à Stockholm par un physicien R. M. SIEVERT (2). Après la lecture du travail de M. SIEVERT nous pensons que notre méthode et nos résultats sont bien supérieurs et en nous basant simplement sur la technique indiquée par l'auteur suédois nous croyons pouvoir formuler quelques critiques. Il nous a paru peut-être difficile d'obtenir de bons clichés supportant un agrandissement convenable en collant la préparation sur la face dorsale du film sensible comme le préconise M. SIEVERT. L'auteur suédois a d'ailleurs utilisé des émulsions à grains grossiers, ce qui exclut la possibilité d'agrandissements convenables.

Par l'une des techniques qu'il indique, M. SIEVERT obtient des images directement agrandies mais la réalisation ne nous paraît pas exempte de critiques : le procédé indiqué par cet auteur consiste à placer devant l'anticathode un écran percé d'une très petite ouverture, celle-ci pouvant alors être considérée comme la source des rayons X. La préparation est alors placée dans un plan parallèle à celui de l'émulsion sensible à une distance telle que l'image est amplifiée dix fois. La principale objection à la méthode est la suivante : c'est qu'en écartant l'objet de la plaque on augmente l'action des phénomènes de diffusion et par suite l'image doit perdre considérablement en netteté, ce qui d'ailleurs peut se vérifier sur les illustrations qui accompagnent l'article suédois. Enfin il nous paraît difficile d'avoir un trou assez fin comme source.

(1) LAMARQUE G. R. Acad. des Sciences, 10 Février 1936. t. 202, page 684-685.

(2) Deux méthodes de micro radiographies (Radiumhemmet t. T 17 n° 97 Acta radiologica Juin 1935, p. 299-309).

Le travail que nous présentons comprend trois parties : Dans la première nous indiquerons de quelle manière nous produisons des rayons X suffisamment mous pour convenir au genre de recherches que nous avons entreprises.

Dans la deuxième nous indiquons les tentatives que nous avons eu à faire pour obtenir des émulsions à grains assez fins pour que les détails des radiographies obtenues ne soient pas trop affectés par la grosseur de ces derniers.

Enfin dans la troisième, nous indiquons les résultats que nous avons obtenus.

CHAPITRE I

NATURE ET PRODUCTION DES RAYONS X UTILISES

1) REALISATION DU TUBE FOCUS

Pour obtenir de bonnes images radiographiques, il faut éviter autant que possible les phénomènes de diffusion qui se produisent au niveau de l'objet examiné, du milieu interposé entre la plaque sensible et l'objet, et enfin de la plaque sensible. La diffusion elle-même entraîne un voile plus ou moins important qui estompe les contours et rend la lecture difficile ; c'est une des raisons pour lesquelles nous croyons pouvoir émettre des doutes sur la qualité des résultats obtenus par le procédé dont nous avons parlé dans l'introduction et préconisé par R. M. SIEVERT de Stockholm (1). Pour éviter ces phénomènes, il ne saurait être question dans l'étude que nous poursuivons de se servir de grilles du type de celles imaginées par BUCKY. On ne peut diminuer la diffusion des rayons X au niveau de l'objet autrement qu'en réduisant considérablement son épaisseur ; nous avons poussé au maximum cette condition en utilisant des objets dont l'épaisseur variait de 3 à 5 μ . La diffusion au niveau de l'émulsion est également réduite par le fait que nous employons des couches sensibles extrêmement fines. D'ailleurs les rayons très mous que nous utilisons sont absorbés par les régions tout à fait superficielles de la gélatine et il ne saurait être question d'action d'un rayonnement diffusé de retour. Enfin, la diffusion du milieu est réduite au minimum en col-

(1) Sievert (Loc. cit).

lant l'objet directement sur la couche sensible à l'aide d'un liquide qui s'évapore très vite et surtout en opérant dans le vide, ce qui revient à la suppression du milieu diffusant. Le contact intime entre l'objet et la plaque photographique présente un autre avantage : c'est que l'image est reproduite en vraie grandeur sans déformation et il n'est plus nécessaire d'utiliser un foyer fin. Les radiographies obtenues avec de larges foyers sont acceptables ; or, il est très difficile lorsqu'on travaille avec de bas voltages d'avoir un foyer fin, la focalisation du faisceau cathodique ne peut être obtenue convenablement et l'interposition d'un diaphragme punctiforme diminue trop l'énergie utilisée du faisceau de rayons X.

Le noircissement de la plaque photographique étant sous la dépendance de la plus ou moins grande énergie X absorbée par la couche sensible, pour obtenir des contrastes, il est nécessaire que le faisceau supposé homogène ait déjà subi des modifications au cours de son passage à travers l'objet à radiographier. Si l'objet est mince et constitué par des éléments légers, les phénomènes d'absorption au niveau de l'objet seront extrêmement faibles si l'on n'utilise des rayons suffisamment mous.

On sait que l'affaiblissement dI d'un faisceau de rayons X est proportionnel à l'intensité incidente I au coefficient d'absorption μ et à l'épaisseur dx de matière traversée, de telle sorte que l'on peut écrire :

$$dI = - I \mu dx$$

$$\text{ou } \frac{dI}{I} = - \mu dx$$

et en intégrant

$$\int_0^x \frac{dI}{I} = -\mu x \quad \text{on a} \quad \left[\text{Log } I \right]_0^x = -\mu x$$

$$\text{ou } I_x = I_0 e^{-\mu x}$$

I_0 étant l'intensité du rayonnement X incident à l'entrée de la couche étudiée.

I_x l'intensité de ce même rayonnement quant il a traversé l'épaisseur x .

Pour obtenir de bons contrastes, il y aura intérêt à ce que le rapport I_x/I_0 soit faible, c'est-à-dire que I_x/I_0 s'écarte de l'unité le plus possible.

Si nous supposons que l'objet s'est constitué par un lame d'épaisseur déterminée x : le rapport I_x/I_0 ne dépend plus que de μ . Pour atteindre le but poursuivi, il y a intérêt à ce que soit grand. Or μ est le coefficient global d'absorption ; il peut être décomposé en deux autres coefficients σ et τ tels que

$$\mu = \sigma + \tau$$

Le coefficient μ défini plus haut représente une absorption par unité de longueur (absorption linéaire). Si on emploie des faisceaux de 1 cm² de section, l'absorption sera alors définie par unité de volume. En divisant le coefficient μ de volume par la densité ρ , on obtient le coefficient d'absorption massique.

$$\mu/\rho = \sigma/\rho + \tau/\rho$$

Or, σ/ρ qui est le coefficient d'absorption par diffusion est à peu près constant pour les grandes longueurs d'ondes et les éléments légers. μ/ρ ne dépend donc alors que de τ/ρ pour les grandes longueurs d'onde. Mais τ/ρ lui-même est sous la dépendance de plusieurs facteurs, et on peut écrire :

$$\tau/\rho = K N^4 \lambda^3$$

où K est une constante

N est le nombre atomique

λ est la longueur d'onde du faisceau.

On voit donc que lorsque le nombre atomique est fixe pour augmenter μ , il faut accroître τ et que pour cela il faut faire croître λ , c'est-à-dire employer des longueurs d'ondes de plus en plus grandes. Cet accroissement de τ se fait alors comme le cube de λ . Il est de ce fait possible de définir la qualité des rayons X pour obtenir de beaux contrastes entre les zones frappées directement par le faisceau de rayons X et celles qui répondent aux parties du faisceau ayant déjà été absorbées sur

leur trajet par l'objet. Mais il est surtout intéressant dans le but que nous poursuivons de pouvoir différencier des corps de densité très voisine. Soit par exemple des composés de corps simples C_1 et C_2 dont les nombres atomiques N_1 et N_2 sont très voisins. Il faut que la différence d'absorption se manifeste d'une façon assez sensible pour se retrouver ensuite sur le cliché ; nous aurons :

$$\tau_1 = K_1 N_1^4 \lambda^3$$

$$\tau = K_2 N_2^4 \lambda^3$$

Si N_1 et N_2 sont voisins K_1 et K_2 peuvent être confondus, on a alors

$$\tau_1 - \tau = K(N_1^4 - N_2^4) \lambda^3$$

Le contraste photographique sera lié plus ou moins directement à la différence $\tau_1 - \tau_2$.

Si la différence placée entre parenthèse ($N_1^4 - N_2^4$) tout en restant toujours supérieure à l'unité reste cependant très petite, $\tau_1 - \tau_2$ sera d'autant plus élevé que λ sera plus grand. C'est encore là une des raisons nécessitant aussi l'abaissement de la fréquence lorsqu'il s'agit de radiographier des objets de densité très voisine, ce qui est le cas des constituants biologiques.

On pourrait sans doute, si l'on connaissait la composition chimique des corps, par conséquent les nombres atomiques de C_1 et C_2 calculer la valeur de λ suffisante pour obtenir de beaux contrastes. Mais lorsqu'il s'agit de corps complexes comme les composés cellulaires, aucun calcul préalable n'est possible et il faut procéder par tâtonnements. L'expérience nous a appris qu'il fallait travailler sous des tensions inférieures à 5 K. V., c'est-à-dire avec des longueurs d'ondes supérieures à 2 Å. Nous verrons d'ailleurs que nous sommes descendus bien au-dessous ; à l'heure actuelle nous opérons avec avantage avec des rayons de 12 Å environ.

Or, lorsqu'il s'agit de travailler avec des rayons aussi mous, il faut utiliser autre chose que des tubes à rayons X scellés li-

vrés par le commerce. Des radiations d'une fréquence aussi basse ne traversent pas les verres des ampoules scellées, seuls les tubes scellés de Bucky à fenêtre de glucinium, (fenêtre de Lindemann) pourraient convenir, nous n'en avons pas eu en mains ; mais en aurions-nous eu que pour des tensions inférieures à 4 K. V. le rayonnement émis aurait été trop facilement absorbé pour donner satisfaction.

Nous avons été dans l'obligation d'imaginer un dispositif spécial que nous décrirons plus loin, mais avant d'arriver à ce dernier stade, nous avons franchi une série d'étapes qu'il nous paraît intéressant d'exposer rapidement.

Le premier tube que nous avons eu en mains était un tube identique à celui que DAUVILLIER avait utilisé pour l'analyse cristalline et accessoirement pour ses recherches de radiomicrophotographie.

Le tube de DAUVILLIER (fig. 1) est constitué par un corps métallique avec une anode à la terre refroidie par circulation d'eau H H'. La cathode N est supportée par un manchon de verre isolant. L'étanchéité est obtenue par des rodages coniques graissés, par un masticage à la picéine M pour le manchon en verre supportant la cathode, et par un joint de caoutchouc J pour l'anode. En face de l'anticathode sont ménagées quatre ouvertures R diamétralement opposées deux à deux ; la surface de l'anticathode étant horizontale, l'axe de ces ouvertures est incliné vers le haut de 30° environ sur l'horizontale, les ouvertures peuvent être obturées par quatre manchons s'adaptant sur elles par rodage conique et portant des fenêtres X fixées à la picéine. Par dessus chacune des fenêtres s'adaptant au corps du tube par un nouveau rodage conique, existent quatre chambres fermées en arrière par un disque adapté sur joint de caoutchouc. Chacune de ces chambres possède un ajutage spécial U permettant de faire le vide. Le tube lui-même possède un conduit spécial s'adaptant sur le système de pompage indépendant de celui du tube. Nous avons utilisé sur ce tube des fenêtres d'aluminium et de cellophane. La cellophane a été rejetée à cause de son extrême fragilité et de sa sensibilité à l'état hygromé-

trique lorsque le tube était longtemps en fonctionnement. Cette substance supporte d'ailleurs assez mal la chaleur transmise par la cathode. L'aluminium s'est montré meilleur, à condition de le choisir sous une faible épaisseur, car sous une épaisseur un peu forte il est trop absorbant. S'il est trop mince il ne ré-

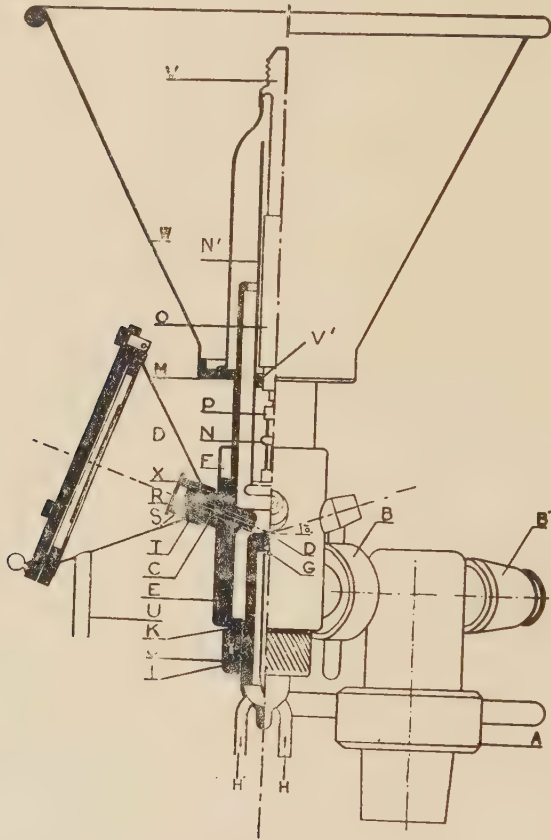


FIG. 1

Tube de Dauvillier pour l'analyse cristalline.

siste pas aux fluctuations de pression qui sont dues aux variations du pompage de part et d'autre. Mais un des plus grands inconvénients de ce tube réside dans la difficulté à obtenir une bonne étanchéité, les fenêtres trop nombreuses et très fines sont trop fragiles, les joints sont aussi trop nombreux. Enfin les

chambres dans lesquelles le vide ne pouvait être que très peu poussé, étaient disposées de telle sorte que le foyer était trop loin de la préparation, ce qui nécessitait avec les plaques que nous fabriquions alors nous-même, des temps de pose trop longs.

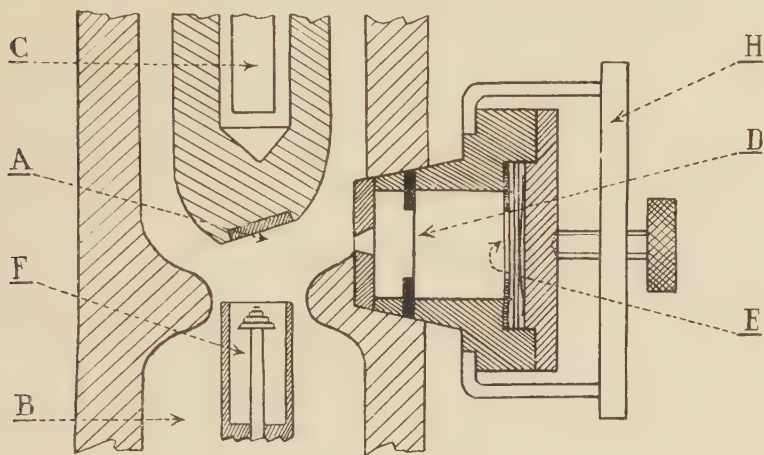


FIG. 2

Petite chambre photographique : A, anticathode ; B, tube ; C, circulation d'eau dans l'anticathode ; D, filtre ; E, film sensible ; F, filament cathodique ; H, fermeture de la chambre.

Aussi, obturant d'une façon définitive les fenêtres latérales, avons-nous fait percer dans le corps du tube une ouverture à axe horizontal destinée à recevoir une petite chambre photographique (figure 2) fixée par rodage à la gaine du tube et contenant la préparation E que l'on pouvait introduire, grâce à une ouverture spéciale fermée par un disque H, sur un rodage à plat. Le vide était obtenu dans la chambre photographique par l'intermédiaire du tube lui-même à l'aide d'une petite gouttière en chicane. La partie conique qui s'adaptait sur tube s'approchait à quelques millimètres de l'anticathode A et portait un petit diaphragme métallique D et plus loin un dispositif spécial destiné à supporter une feuille d'aluminium ou de cellophane, colorée pour arrêter les rayons lumineux émis par la cathode F.

Cette nouvelle chambre présentait un avantage sérieux : tout d'abord elle permettait d'obtenir un vide plus poussé que les chambres de Dauvillier ; elle rapprochait la préparation du foyer ; enfin, elle diminuait les risques de fuite au cours du pompage et en particulier au moment de la mise en charge du tube. En revanche, elle présentait l'inconvénient de s'échauffer assez vite, pour détériorer quelquefois l'émulsion.

C'est pour éviter cet inconvénient que nous avons dessiné le tube, représenté par les figures 3, 4, 5, que la Compagnie Générale de Radiologie a bien voulu fabriquer et c'est celui qui nous a permis d'atteindre d'une façon convenable les buts que nous nous étions proposés.

2) DESCRIPTION DU TUBE A RAYONS X.

Le corps du tube dérive de celui du tube de Dauvillier. Il s'agit d'un corps métallique entouré d'une gaine également métallique ; entre les deux, une cavité assez grande permet une libre circulation d'eau destinée au refroidissement I, avec un tuyau d'entrée en bas et un autre de sortie à la partie supérieure, sur lesquels s'adaptent des canalisations en caoutchouc entoilé. Sur le tube, dont le grand axe est vertical, est mastiqué, à la picéine, un manchon de verre K renflé à sa partie moyenne ; l'extrémité supérieure du manchon, de forme conique, est rodée extérieurement pour s'adapter dans un rodage creux disposé dans le support métallique D de la cathode. Le support et le cône de verre sont obturés à l'aide d'une graisse spéciale ayant une très faible tension de vapeur. Le support de la cathode est armé d'ailettes destinées au refroidissement ; il contient en son milieu un long cylindre métallique destiné à supporter la cathode incandescente. Celle-ci constituée par un filament de tungstène enroulé en spirale peut être abaissée ou élevée par glissement de telle sorte qu'elle peut être rapprochée ou éloignée de l'anticathode A. Il est en effet nécessaire aux basses tensions auxquelles nous travaillons de rapprocher suffisamment le filament pour obtenir un faisceau cathodique assez intense. A la partie supérieure et extérieure de la masse

cathodique se trouvent deux bornes d'entrée dont l'une est isolée pour l'alimentation du courant de chauffage. Le filament est facile à enlever et à remplacer ; des filaments tout prêts

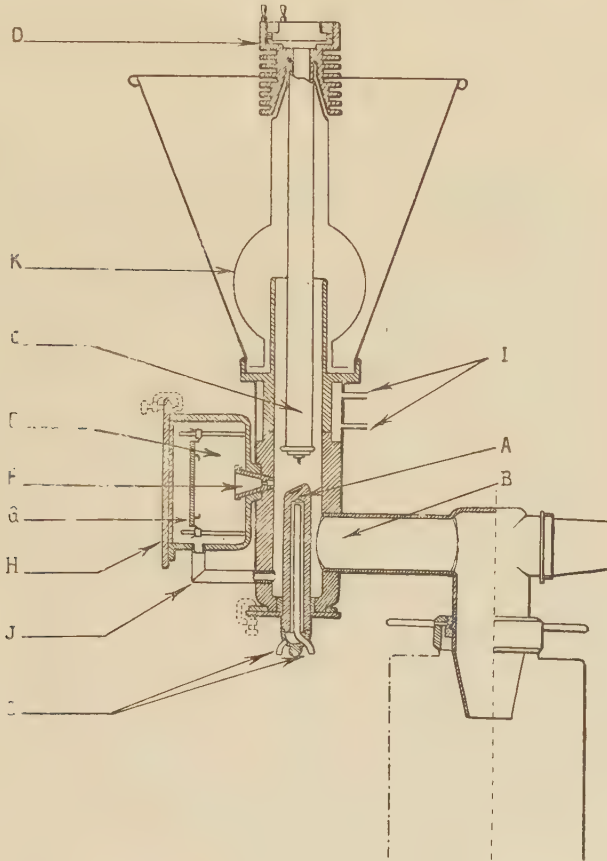


FIG. 3

Tube de l'auteur :

A, anticathode ; B, conduite de pompage ; C, cathode ; D, radiateur cathodique ; E, chambre photographique ; F, Filtre ; H, disque de fermeture de la camera ; I, circulation d'eau ; J, conduite de pompage dans la chambre ; K, manchon de verre.

sont livrés par le commerce, mais il suffit de prendre un filament de tungstène calibré pour fabriquer une cathode convenable. Le filament est centré à l'aide d'un dispositif optique très simple.

A la partie inférieure, le tube est terminé par un anneau plat soudé au corps et rodé ; sur lui peut se placer normalement un disque également rodé à plat destiné à obtenir l'étanchéité qui supporte en son milieu une anode de cuivre dont la partie supérieure est constituée par une pastille métallique inclinée à 45° et formant anticathode ; nous avons employé indif-

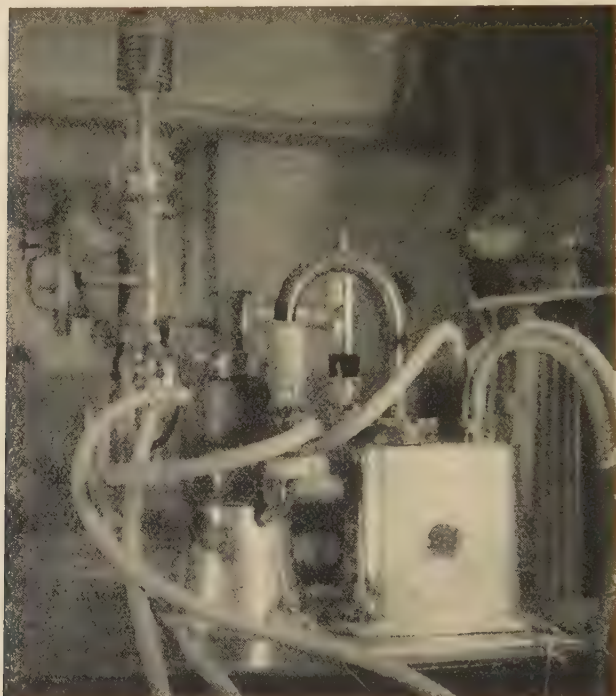


FIG. 4

Le tube en place sur les pompes (vue de profil).

fèrement le tungstène et le fer. L'anode est creuse pour permettre une circulation d'eau dont les orifices d'entrée et de sortie I sont placés extérieurement à la partie inférieure du disque et mis en série avec les différents circuits destinés au refroidissement. Le disque d'obturation est maintenu par des vis spéciales et l'étanchéité parfaite obtenue par de la graisse

à vide et sur les bords par une matière spéciale plastique « le vacoplast ».

Perpendiculairement à l'axe du tube se trouvent deux ouvertures diamétralement opposées. L'une B est en communication avec un manchon métallique soudé au tube destiné à relier ce dernier au système de pompage ; l'autre ouverture

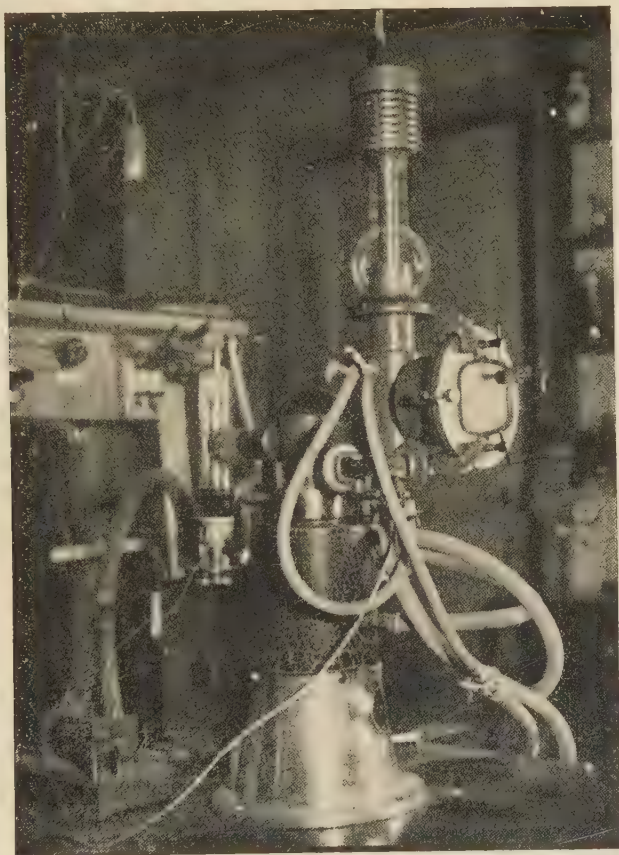


FIG. 5

Le tube sous une autre incidence. On peut voir le mode de fermeture de la chambre photographique.

F, plus petite, met en communication le tube avec la chambre photographique E. Enfin, une autre ouverture sur le tube, un

peu au-dessous, permet d'en réunir le corps à la chambre photographique par un tuyau métallique S étanche soudé à la fois au tube et à la chambre photographique.

La chambre photographique est constituée par un cylindre métallique ayant à peu près un diamètre double de celui du tube, mais n'ayant que 7 à 8 cm. de longueur. L'axe de la chambre est perpendiculaire à l'axe du tube et centré exactement sur l'ouverture dont nous avons parlé, son prolongement passe par le centre de l'anticathode où se trouve le foyer d'émission des rayons X. Cette chambre est soudée au corps du tube et ouverte de l'autre côté, mais porte sur son bord libre une couronne métallique rodée à plat sur laquelle vient s'adapter au moment du fonctionnement un disque H également rodé à plat qui assure une étanchéité parfaite même aux pressions les plus basses. Le couvercle circulaire est maintenu en place par des vis spéciales en fer à cheval. Un système bien simple permet facilement le décollement du couvercle qui sans cela est toujours difficile lorsque l'appareil a fonctionné longtemps. L'ouverture axiale qui relie le corps du tube à la chambre photographique est rodée en cône à sommet interne pour recevoir une pièce spéciale destinée à supporter une fenêtre F. Cette fenêtre, lorsqu'elle est en place, vient obturer l'ouverture mais elle ne subit aucune déformation car le vide se faisant dans la chambre photographique par l'intermédiaire du conduit accessoire que nous avons décrit plus haut, la pression reste toujours la même sur les deux faces. Enfin, à l'intérieur de la chambre se trouve un système de glissières permettant d'introduire et de placer à une distance variable la plaque photographique. Celle-ci est soutenue par un châssis spécial G s'adaptant aux glissières et de ce fait la préparation se trouve automatiquement centrée sur le faisceau de rayons X.

Les fenêtres jouent un rôle capital ; elles sont constituées par des disques opaques qui ont pour but d'arrêter la lumière émise par la cathode et de ne laisser passer strictement que les rayons X.

Comme nous utilisons des rayons X très mous, c'est-à-dire

de grande longueur d'onde, il est de première nécessité d'avoir des fenêtres extrêmement minces. C'est parce que les fenêtres très minces sont très peu résistantes et présentent souvent des imperfections, que nous avons été appelés à imaginer notre tube avec sa chambre photographique.

Nous avons employé d'abord l'aluminium sous forme de minces lames de quelques μ d'épaisseur ; ces lames doivent être choisies sous le contrôle du microscope ; au laminage elles sont en effet très souvent détériorées et présentent des petits trous imperceptibles qui s'opposent à l'utilisation car de petits orifices ne manqueraient pas de donner une image de la cathode sur la plaque photographique. Lorsque nous avons abaissé la tension au-dessous de 5 K. V., ces lames se sont montrées trop épaisses et nous avons utilisé des fenêtres de 4 μ . Ces dernières se sont montrées excellentes et nous les employons encore. Il importe toutefois de les changer souvent à cause de la pulvérisation cathodique ; en effet, après quelques heures de fonctionnement, le dépôt de tungstène sur la face interne du filtre est assez important pour rendre ce dernier opaque aux rayons utilisés. Ce changement de filtre est d'ailleurs un très petit inconvénient. Nous avons essayé sans succès les fenêtres de cellophane rouge ou noir ; cette matière qui, utilisée dans l'air présente une grande fragilité à cause de sa sensibilité aux variations hygrométriques, présente dans le vide au voisinage de la cathode incandescente, l'inconvénient encore plus grand de se carboniser ou de se détacher et les fragments peuvent être attirés dans l'huile des pompes et mettre ces dernières hors d'usage. Sur les conseils d'un de nos amis, M. FOURNIER, nous avons fait appel au lithium métallique que l'on trouve assez facilement dans le commerce sous forme de petits bâtonnets. Le lithium occupe, on le sait, la case 3 dans la suite naturelle des éléments du tableau de Mendeljeff, il est donc extrêmement léger et comme il est parfaitement opaque à la lumière, il se prête très bien à l'usage auquel nous le destinons. A peu près inutilisable dans l'air car il s'oxyde avec une extrême rapidité, il devient dans le vide un excellent écran à la lumière ; malheu-

reusement, il faut changer les fenêtres de lithium après deux ou trois heures de fonctionnement, car sous l'action des vapeurs chaudes d'huile de la pompe à diffusion, il change d'aspect, paraît se transformer et de toute façon devient opaque. Malgré cet inconvénient, c'est lui que nous employons le plus volontiers et il paraît être le seul utilisable aux tensions très basses de 1.000 volts auxquelles nous avons été conduits à travailler dans les derniers temps. Il ne saurait être question de couper au microtome de fines lamelles de lithium, le fil du rasoir serait vite émoussé et le métal en question est trop mou pour supporter un pareil effet sans s'abimer. Mais il suffit de découper au couteau un petit fragment de lithium, de le porter sur une enclume bien décapée et de le marteler doucement avec un marteau parfaitement propre. On obtient ainsi en quelques minutes et sans difficulté une lamelle extrêmement mince si l'on opère avec quelques précautions.

Nous avons réussi à nous procurer un petit disque de glucinium qui est un métal extrêmement léger puisque son nombre atomique est 4. Mais le glucinium ne se lamine pas ; il est très dur et très cassant ; on le découpe sur des barreaux et les disques qui nous ont été livrés par le commerce ont un millimètre d'épaisseur ce qui nous paraît excessif ; nous avons cependant l'intention de l'essayer, bien que son prix de revient soit encore très élevé.

3) LE POMPAGE ET LE VIDE.

La technique du vide, si remarquablement exposée par DUNOYER (1) n'est pas à proprement parler une technique difficile, elle demande simplement un certain apprentissage. Une expérience de quelques mois nous a permis de mener à bien le pompage en vue d'obtenir les plus basses pressions. La découverte d'une fuite au début est un problème extrêmement délicat qui devient au bout d'un certain temps une recherche assez facile.

(1) DUNOYER. La technique du vide. Conférences-rapports. Société de physique. (Les presses universitaires de France.)

L'installation à demeure d'un appareillage que l'on connaît ne demande après la mise en train, qu'une surveillance réduite. Le problème des fuites a d'ailleurs été pratiquement résolu pour

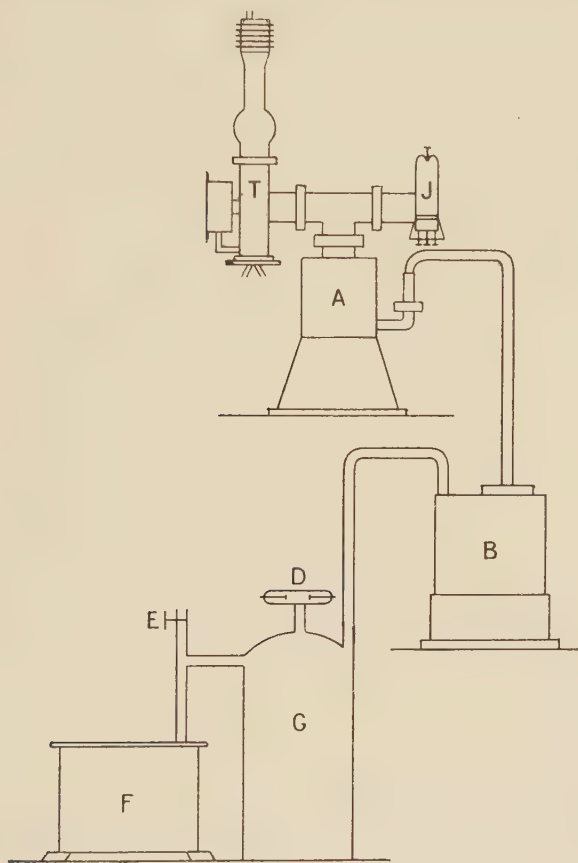


FIG. 6

Schéma de pompage

T. Tube, J. Jauge à ionisation, A. pompe à diffusion de vapeur d'huile, B. pompe à diffusion de vapeur de mercure, G. réservoir volant de vide, D. tube témoin, F. pompe à palettes, E. orifice d'admission d'air.

nous par l'introduction de la matière plastique à froid imaginée par BRAGG et vendue en France dans le commerce sous le nom de « vacoplaste ».

Un système de pompage pour vide doit être composé de différents étages et d'appareils de mesure du vide.

L'installation que nous avons utilisée se compose de deux étages en série (fig. 6) séparés par un grand réservoir étanche appelé réservoir volant de vide. Ce grand réservoir d'une capacité de vingt litres environ est métallique et soudé à l'autogène; il porte à sa partie supérieure trois orifices l'un est en relation avec la pompe primaire, un autre avec les pompes de l'étage supérieur, le troisième est en communication avec l'appareil de mesure du vide primaire.

Le réservoir volant de vide est réuni aux différents organes dont nous venons de parler, par des canalisations souples en gutta pur; le diamètre externe de ces tubes de caoutchouc est de 4 cm alors que le diamètre interne n'atteint pas 1 cm. Ces caoutchoucs sont spécialement fabriqués et doivent être débarrassés de toute impureté lors de la mise en usage. Ils coiffent en force les orifices métalliques destinés à les recevoir sur les différents appareils ou raccords; on facilite leur introduction par lubrification à l'huile de ricin qui attaque peu le caoutchouc; ils sont serrés ensuite par des colliers, et enfin on dépose au pinceau sur leur extrémité, lorsqu'ils sont en place, une couche de gomme laque qui en séchant constitue une mince pellicule solide, très étanche, s'insinuant entre le caoutchouc et l'embout de métal.

La pompe à vide primaire que nous avons utilisée est une pompe rotative à palettes, fabriquée par la Compagnie Générale de Radiologie. Nous croyons bon de rappeler brièvement le principe de ces pompes.

« Dans une enveloppe A (figure 7) est logé un cylindre B creusé d'une fente C. Le cylindre B s'applique contre la paroi interne du tube A suivant une génératrice D commune aux deux parties. Dans la fente du tambour B sont logées deux palettes E, F, glissant à frottement doux et repoussées contre la paroi interne de A par un ressort G. Le tube A. est ainsi partagé en deux cavités, dont le volume varie quand on fait tourner le tambour B et, par suite, les palettes E, F. En supposant le

mouvement de rotation dans le sens indiqué, par la flèche la cavité H augmente de volume l'air sera donc aspiré par l'orifice J. Pendant ce temps, la cavité I diminue, il y aura donc refoulement d'air par l'orifice K. Le mouvement de rotation continuant, le même cycle se reproduit. Les extrémités du cylindre A sont fermées par deux flasques qui s'appuient à la fois, sur les bords du cylindre A, sur le cylindre B et sur les palettes E. F de façon à rendre étanches la pompe et ses cavités. Les

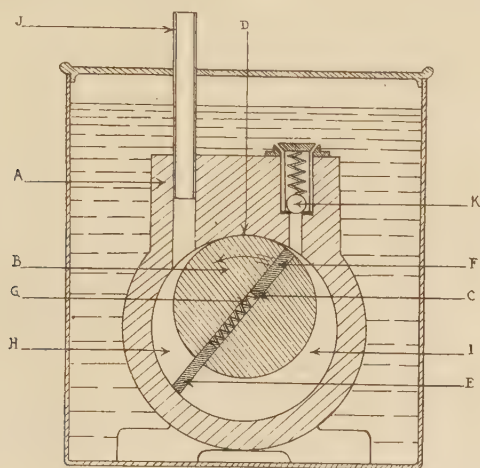


FIG. 7

Schema de la pompe rotative.

fuites entre les différentes parties de la pompe et les rentrées d'air extérieur doivent être complètement évitées. Pour cela la pompe est immergée dans un bac plein d'huile. Par suite de sa viscosité, cette huile ne peut entrer qu'en petite quantité dans la pompe par les espaces capillaires ou par le presse étoupe où elle assure une étanchéité complète et le parfait graissage de la pompe. L'immersion de la pompe a également l'avantage d'assurer un excellent refroidissement parce que la chaleur développée au cours du fonctionnement est transmise au bac et la surface rayonnante dans l'air se trouve ainsi très augmentée ».

« Une soupape, dont le rôle est très important, a été adjointe à l'orifice d'échappement K. Lorsque l'une des palettes vient de passer devant l'orifice K, la cavité I serait, sans la soupape, mise en communication avec l'atmosphère extérieure et la pression s'équilibrerait avec la pression ambiante, il y aurait donc, de part et d'autre de la palette E, une différence de pression d'environ 76 cm de mercure. Si, au contraire, après s'être soulevée, pour laisser passer le gaz et l'huile à expulser, la soupape ferme immédiatement l'orifice K, il n'y a tout au plus, dans la cavité I, qu'une pression voisine de celle qui règne dans la cavité H, puisque l'une et l'autre viennent d'être mises consécutivement en communication avec le récipient à vider. Cette différence de pression, très faible, réduit considérablement les fuites entre les compartiments de la pompe ».

On voit sur la figure 10 que seul l'orifice d'aspiration J émerge de l'huile et que le refoulement des gaz extraits se fait à travers la soupape K constamment recouverte par l'huile. La pression la plus basse que permet d'atteindre ce type de pompe est d'environ 0,01 mm. de mercure quand l'huile est neuve ».

Pour obtenir des pressions inférieures à 0,01 mm. de mercure, on fait travailler deux pompes en série (fig 8), l'une faisant le vide dans l'autre.

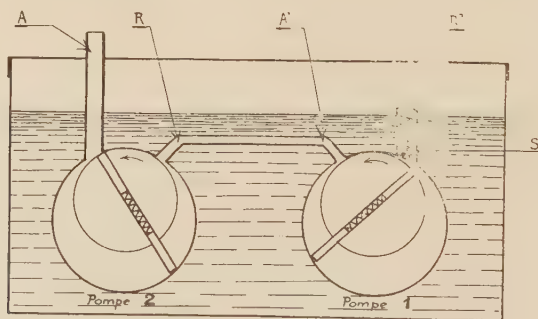


FIG. 8

Schéma d'une pompe rotative à deux corps.

C'est ce système de pompe que nous avons utilisé.

Les deux corps de pompe sont montés en tandem, c'est-à-

dire que l'extrémité de l'arbre de la première pompe entraîne la seconde ; les deux pompes ayant une paroi commune, dans l'épaisseur de laquelle sont forés les canaux de communication.

« La figure 8 représente schématiquement la disposition de l'ensemble. Pour donner plus de clarté à la description, la pompe 1, qui en réalité, se trouve devant la pompe 2, a été placée à la droite du dessin. La pompe 1 (seule munie d'une soupape S) abaisse la pression jusqu'à 1/100 de millimètre de mercure, à partir de la pression atmosphérique. Son orifice d'aspiration A' est relié à l'orifice de refoulement R de la pompe 2, comme il a été dit plus haut. La pompe 2, semblable à la pompe 1, est munie d'un presse-étoupe, traversé par l'arbre qui entraîne les deux pompes. Cet arbre passe à travers une cloison médiane (non figurée sur le schéma) et entraîne la seconde pompe. Le tout est immergé dans l'huile. Comme on le voit sur la figure II, le niveau de cette huile est tel que l'orifice d'aspiration A émerge seul, le refoulement des gaz extraits se faisant à travers la soupape S constamment recouverte d'huile. La pression la plus basse que permet d'atteindre ce type de pompe avec une huile neuve peut être inférieure à 0,0001 mm. de mercure. »

Il est évident que l'huile employée doit avoir une très basse tension de vapeur ; celle que nous utilisons a une tension inférieure à 0,0001 mm de mercure à 70° C.

A la vitesse normale de 450 tours par minute, le débit de ces pompes est de 1400 centimètres cubes, soit 5,15 mètres cubes à l'heure ; elle peut abaisser la pression jusqu'à 0,01 millièème de mercure.

La pompe à palette est reliée comme nous l'avons dit avec le réservoir volant de vide par un raccord en gutta pure ; nous avons intercalé entre la pompe et ce réservoir un tube métallique en forme de T, de dimension convenable pour s'adapter sur la canalisation souple de chaque côté sur la branche horizontale du T ; sur l'autre branche est placé un fragment relativement court du tuyau en caoutchouc, ouvert à l'extérieur et permettant de faire rentrer l'air dans l'appareillage. Au moment

du pompage, cet orifice E (fig.6) est fermé par une forte pince spéciale. Lorsque l'on veut laisser après le pompage tout l'étage supérieur sous vide, on pince la canalisation souple située entre le T et le réservoir volant de vide, il est alors possible d'ouvrir l'air qui pénètre seulement dans la pompe à palettes et empêche ainsi les remontées d'huile qui ne manqueraient pas de se produire.

Au dessus du réservoir volant de vide se trouvent les pompes à diffusion de vapeur ; nous avons d'abord travaillé avec une seule pompe à diffusion de vapeur d'huile, mais nous préférons fonctionner avec deux pompes à diffusion de vapeur montées en série.

La première de ces pompes est une pompe à condensation de vapeur de mercure (fabriquée par la Compagnie Générale de Radiologie) ; elle fait le vide sur une autre pompe à condensation de vapeur d'huile. Toutes les deux sont refroidies par circulation d'eau.

Avant de décrire, rapidement d'ailleurs, ces deux modèles de pompe, il est bon de rappeler le principe du fonctionnement des pompes à condensation.

— Considérons un jet de vapeur de mercure arrivant par un tube I (figure 9) pénétrant dans une enceinte 2 dans laquelle la pression des gaz a été abaissée par exemple au moyen d'une pompe mécanique. En sortant du tube 1 le jet de vapeur de mercure est dirigé vers le bas par le déflecteur 3 et prend une forme annulaire en s'épanouissant comme il est indiqué sur la fig I. Il va frapper la paroi du tube 2 qui est refroidie par une chemise d'eau et il s'y condense. Dans l'ensemble, la vapeur de mercure est animée d'un mouvement de translation parallèle à l'axe de la pompe et dirigé vers le bas, les trajectoires qui s'écartent le plus de cette direction étant les trajectoires a b.

Au-dessus de la surface tronconique a b règne une très faible pression due à la présence du gaz à extraire et des molécules de mercure non condensées lors de leur premier choc en b. Par suite de leur agitation, les molécules du gaz à extraire pénètrent au-delà de la surface a b. Elles sont alors entraînées

par le jet de vapeur de mercure et comprimées dans la région d'où elles sont aspirées par la pompe préparatoire. Le mercure condensé retourne dans la chaudière.

La circulation d'eau a donc pour rôle principal, en favorisant la condensation de la majeure partie de la vapeur de mercure incidente, de permettre l'existence de cette surface a b qui sépare le gaz à extraire du jet extracteur.

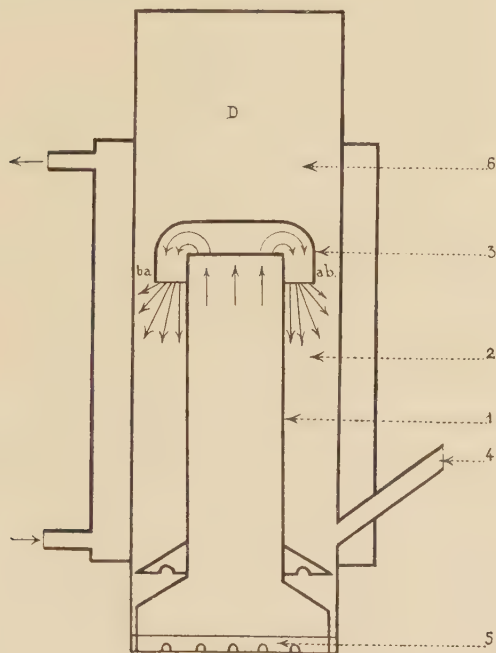


FIG. 9

Schéma d'une pompe à diffusion de vapeur

Pour que la surface a b puisse se former ; il faut également que la majeure partie des molécules de mercure qui sont contenues dans la surface a b, atteignent la paroi refroidie sans avoir subi de choc de la part des molécules du gaz à extraire. On doit donc s'attendre à ce que l'appareil fonctionne d'une façon satisfaisante à partir du moment où la pression du gaz en D est telle, que le libre parcours moyen d'une molécule de mer-

cure dans le gaz à extraire est de l'ordre de grandeur de la distance a b.

Lorsque la pression des gaz à extraire est élevée et que le libre parcours moyen d'une molécule de mercure dans le gaz est inférieur à la distance a b, les molécules de mercure constituant le jet sont déviées de leur parcours par suite de leurs chocs répétés contre les molécules de gaz, le plan a b est désorganisé et la pompe fonctionne mal.

Dans ces conditions, les trajectoires des molécules de mercure sont des lignes brisées et il arrive qu'un grand nombre d'entre elles vont jusque au tube D et au-delà, dans le récipient à vider, parce que les chocs contre les molécules de gaz les ont empêchées d'atteindre les parois froides de la pompe et de s'y condenser.

Donc, en général, une importante condensation de mercure dans l'appareil à vider est consécutive à un fonctionnement prolongé de la pompe sous une pression de gaz élevée (supérieure à 100 baryes).

L'étude théorique et expérimentale de la pompe à condensation a prouvé que cet appareil est caractérisé par une *vitesse d'aspiration constante à toutes les pressions*, même les plus basses, et par une *pression limite nulle*. Les pressions extrêmement faibles que l'on observe parfois, sont dues à des dégagements de gaz des canalisations ou des appareils de mesures.

Les pompes à condensation de vapeur demandent pour s'amorcer des pressions déjà basses, c'est ce qui justifie le pompage primaire ; nous avons utilisé différents modèles de pompes à condensation : le meilleur à notre avis est celui à haute pression de vapeur de mercure et à grande vitesse d'aspiration constituée par trois étages d'aspiration en série : (modèle de la C. G. R.).

a) Un étage de pompe à condensation à grande vitesse d'aspiration et à faible pression d'amorçage.

b) Un étage intermédiaire de pompe à condensation à vitesse d'aspiration et à pression d'amorçage moyens.

c) Un étage constitué par un éjecteur à faible vitesse d'aspiration et haute pression d'amorçage.

« L'élément chauffant I (fig. 10) disposé horizontalement à l'intérieur du tube cylindrique horizontal 2 chauffe par rayonnement ce tube 2 qui transmet la chaleur au mercure contenu dans l'espace annulaire 3 compris entre les tubes 2 et 4 ».

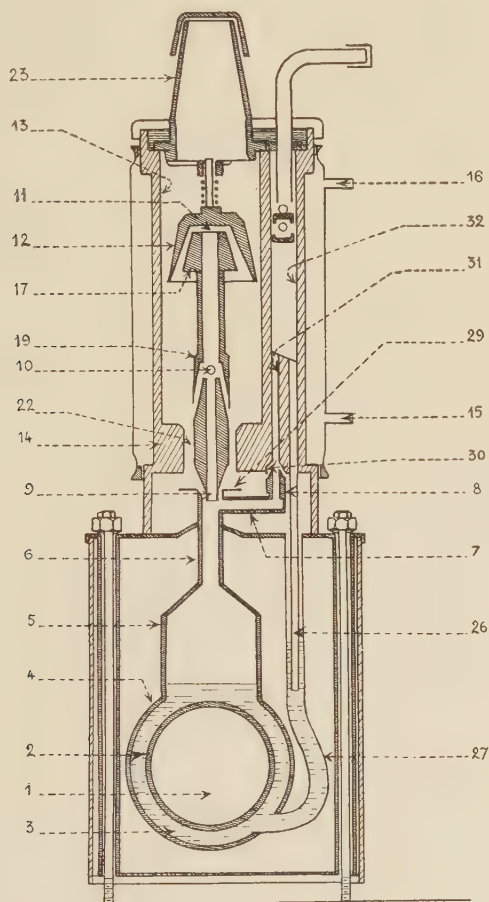


FIG. 10

Schéma de la pompe à diffusion de vapeur de mercure.

La vapeur produite s'élève dans le collecteur de vapeur 5 jusqu'en 6 où une partie se dirige par la canalisation 7 dans

l'ajutage convergent 8 de l'étage d'éjection et l'autre partie continue dans le tube 9 pour alimenter par les trous 10 et 11 les deux étages d'aspiration à basse pression. L'étage d'aspiration à très grande vitesse, celui qui détermine la vitesse d'aspiration de la pompe, est constitué par le jet de vapeur de forme annulaire dirigé vers le bas et compris entre le déflecteur 12 et la paroi refroidie. Les gaz à extraire diffusent dans ce jet de vapeur et sont comprimés vers le bas. La paroi refroidie 13 est constituée par la surface latérale d'un cylindre percé dans la pièce massive métallique 14. Cette pièce 14 est refroidie à sa périphérie par une circulation d'eau, l'entrée d'eau se faisant par l'ajutage 15 et la sortie par l'ajutage 16. La forme convenable est donnée au jet de vapeur par le déflecteur 12 et le guide 17.

La vapeur issue de l'ajutage convergent 8 de l'étage d'éjection passe dans l'ajutage convergent 30 où elle se mélange mécaniquement au gaz à extraire, puis dans l'ajutage 31 où le gaz est comprimé à la valeur de la pression régnant dans la canalisation du vide préalable ».

« Les ajutages 29, 31 et 32 sont de simples trous percés dans la pièce métallique 14 qui est refroidie à sa périphérie par une circulation d'eau de ville. Le déflecteur 19 et la paroi froide 22 constituent l'étage d'aspiration à moyenne pression de la pompe. Les gaz qui sont entrés par l'ajutage secondaire 23 et qui ont été comprimés une première fois par l'étage d'éjection à haute pression dans la canalisation de vide préparatoire. Le fluide condensé sur les parois froides 43 retourne dans la chaudière en passant par l'espace compris entre les tubes 26 et 27. En haut de l'ajutage 32 se trouve une pièce 33 qui oblige les gaz à extraire à suivre un parcours sinueux afin d'assurer la condensation des dernières traces de vapeur de mercure. Cette pièce 33 se termine à l'extérieur de la pompe par un prolongement cylindrique destiné à faciliter le raccordement avec la pompe à vide préalable. L'étanchéité du joint est obtenue en coulant un mastic approprié dans la cupule aménagée à la partie supérieure de la pièce 14. Ce mastic assure à la fois

l'étanchéité entre la pièce 32 et la pièce 14 et entre la pièce 23 et la pièce 14 ».

Le chauffage de cette pompe est électrique (5 ampères, 110 volts) et le refroidissement est assuré par circulation d'eau de la ville dont la température de sortie ne doit pas dépasser 25°. L'amorçage de cette pompe peut se faire tant que la pression n'excède pas 15 mm. de mercure. La vitesse d'aspiration de l'air est constante et de l'ordre de 20 cm³ par seconde. La pression peut être abaissée jusqu'à 1 barye, pression de vapeur de mercure à la température de la chambre.

L'usage de cet appareil exige quelques précautions, entre autre la nécessité d'un refroidissement suffisant pour éviter la détérioration des joints après usage. Le nettoyage est assez délicat mais peut-être fait sans trop de difficultés. Comme nous l'avons dit cette pompe est branchée sur une pompe à condensation de vapeur d'huile qui fonctionne d'après le même principe. Une canalisation aussi courte que possible les relie.

L'orifice primaire de la pompe à vapeur d'huile (fig. 11 se termine par un cône C qui s'ajuste dans une partie conique complémentaire portée par une pièce D. Cette pièce D est refroidie par une circulation d'eau. L'arrivée d'eau se fait par la tubulure E et la sortie par la tubulure F. L'étanchéité entre la pièce C et la pièce D est obtenue en enduisant le cône C d'une graisse spéciale. L'ensemble est rendu solidaire par l'écrou G qui prend appui sur la collerette H. La pièce I refroidie par son bon contact thermique avec la pièce D est un piège dont la surface extérieure condense la vapeur d'huile de la pompe qui pourrait s'échapper par l'orifice C et permet le retour de l'huile condensée à la pompe. Sa partie intérieure condense et retient les corps volatils venant du vide préliminaire (vapeur d'huile de pompe à palettes, vapeur de mercure) qui pourraient salir la pompe. La pièce D se termine par une partie tubulaire J susceptible d'être raccordée à la canalisation de vide préalable soit par soudure, soit par un caoutchouc à vide d'au moins 20 mm de diamètre intérieur.

L'arrivée de l'eau se fait par l'ajutage K et la sortie par

l'ajutage L. Le débit doit être tel que la température de la chemise d'eau soit aussi basse que possible. Un débit de 1 dm³ par minute assure une élévation de température de l'eau entre l'entrée et la sortie inférieure à 5° C. Cette circulation d'eau peut se mettre sans inconvénient en série avec la circulation d'eau de la pièce D.

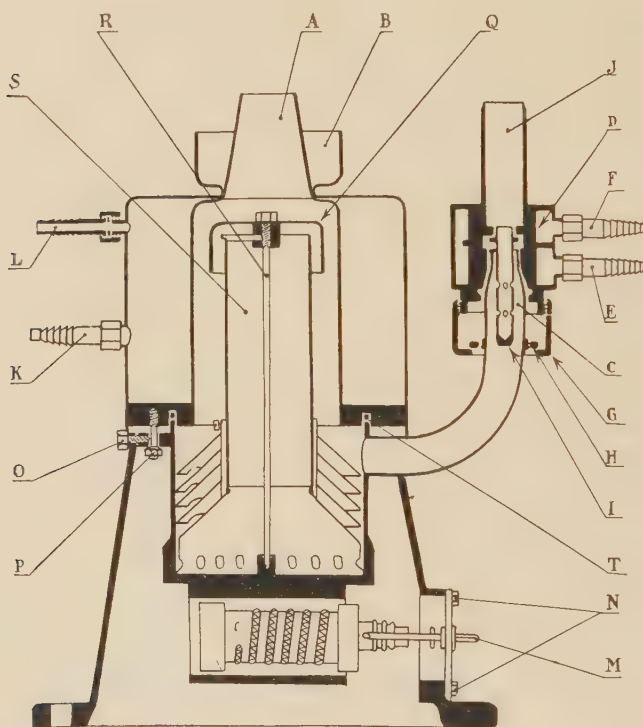


FIG. 11

Schema de la pompe à diffusion de vapeur d'huile.

On alimente les bornes du réchaud M sous une tension alternative ou continue de 110 volts en intercalant un rhéostat de 5 ohms environ et un ampèremètre. La pompe fonctionne très bien tant que le courant de chauffage est compris entre 4 et 5,5 ampères. Si le courant est inférieur à 4 ampères la pompe se désamorce facilement lorsqu'il y a de grandes

quantités de gaz à extraire. Si le courant de chauffage est supérieur à 4,5 ampères, il se produit généralement une légère décomposition de l'huile qui entraîne une pression limite supérieure à 10^{-3} baryes. Le temps de mise en route de la pompe quand on la chauffe avec 4,5 ampères est de 20 minutes. Au bout de 20 minutes la pompe atteint sa vitesse d'extraction maxima.

Cette pompe présente l'inconvénient de demander un refroidissement assez poussé avant d'introduire de l'air. L'arrivée d'air sur de l'huile chaude la rend inutilisable. Il faut alors démonter la pompe, la nettoyer à la benzine cristallisable et mettre une nouvelle charge d'huile. C'est là un travail qui demande près de deux heures. D'autre part, le joint de caoutchouc doit être changé à chaque démontage. Cette pompe amène le vide à un degré convenable pour travailler dans les meilleures conditions puisqu'elle abaisse la pression de 10 baryes à 1/1000 de barye ce qui répond à la tension de vapeur d'huile à la température de la chambre.

Le tube à rayons X est monté sur cette dernière pompe par l'intermédiaire d'un ajutage spécial en T. (B fig. 2). La branche verticale placée sur la pompe et fixée par rodage conique, une branche horizontale du T supportant le tube, l'autre un appareil de mesure de vide que nous décrirons.

4) LA MESURE DU VIDE

La pression doit pouvoir être mesurée avec assez de précision au niveau du réservoir volant de vide, car ce n'est qu'après qu'elle a été suffisamment abaissée que l'on peut mettre en marche les pompes à condensation, ces dernières, on le sait, ne pouvant être amorcées que lorsque la pression est suffisamment basse.

La mesure du vide primaire peut-être grossière ; on l'effectue à l'aide d'un tube témoin constitué par un tube de verre en T dont les branches horizontales sont fermées et supportent deux petites électrodes soudées au verre. La branche verticale est en communication avec le réservoir par l'intermédiaire

d'un raccord en caoutchouc (fig. 6). Les électrodes sont réunies aux bornes secondaires d'un petit transformateur ou plus simplement d'une bobine, la tension aux bornes du secondaire étant de l'ordre de 3.000 à 4.000 volts.

Pour apprécier le vide, on se base sur la fluorescence au cours de la décharge. Lorsque la pression dans le tube est de l'ordre de 1 cm. de mercure, on voit apparaître une colonne lumineuse rouge violacée de la grosseur d'un crayon qui part de l'anode et se termine par affaiblissement progressif un peu avant d'atteindre la cathode ; c'est la lumière positive. Vers un millimètre et demi de pression, la lumière positive augmente pour remplir toute la section du tube. A partir de ce moment on peut donc mettre en marche les pompes à condensation. En général cette lumière positive se dispose sous forme de strates, on sait que ces strates ne s'observent qu'avec les mélanges gazeux comme c'est le cas pour l'air.

Cette pression est très rapidement obtenue mais il est intéressant de pousser plus loin le vide à l'intérieur des tubes, jusqu'à obtenir une fluorescence des parois, car on peut de cette façon mettre en lumière les fuites plus ou moins importantes qui peuvent exister et éviter ainsi une perte de temps. Il faut en effet avoir présent à la mémoire le fait qu'à mesure que la lumière positive diminue, la lumière négative prend plus d'importance.

A des pressions de l'ordre de quelques millimètres de mercure, la lumière négative ne recouvre qu'une partie restreinte de la cathode ; à mesure que la première baisse, la lumière négative recouvre davantage la cathode ; vers 0, 5 mm. de pression toute la cathode est coiffée par cette lumière. Mais en observant de près, on voit que celle-ci est séparée de la cathode par un espace obscur, cet espace obscur s'étend de plus en plus à mesure que la pression baisse avec notre tube ; cet espace est de 1 cm environ pour une pression de 1/10 de mm et il faut une pression de 1/100 de mm. pour qu'il ait une étendue de plusieurs centimètres. En même temps on voit apparaître sur les parois du tube de verre une fluorescence caractéristique

verte due à l'action des rayons cathodiques ou des rayons X sur la paroi. A mesure que la pression baisse, cette couleur verte prédomine ; elle est d'ailleurs de plus en plus pâle et il arrive un moment quand le vide est trop élevé où il ne se produit plus de phénomènes lumineux à l'intérieur, le tube est dit bloqué et si l'on a pris soin de placer à l'extérieur en parallèle avec lui deux pointes métalliques séparées par un espace libre de 2 à 3 centimètres, l'étincelle éclate entre ces pointes, la résistance intérieure du tube est supérieure à celle de l'air entre les pointes.

Nous avons dit qu'à la sortie de la pompe à condensation d'huile, branché directement sur la canalisation de pompage du tube se trouvait un autre appareil de mesure du vide ; ce second appareil de mesure de vide peut être un second tube témoin. Ce n'est que lorsqu'il est bloqué que l'on peut allumer le filament du tube sans cela le tungstène incandescent s'oxyde très rapidement dans l'air résiduel et se grille. Il faut alors le changer, ce n'est pas une grande difficulté, mais une perte de temps car il faut non seulement démonter la cathode mais encore l'anode pour centrer le nouveau filament à l'aide d'une lunette spéciale. Pour plus de sûreté nous avons personnellement remplacé le tube témoin par une jauge à ionisation donnant une précision beaucoup plus grande et donne plus de sécurité pour la mise en charge du tube. La jauge à ionisation ou micromanomètre à ionisation est une lampe à trois électrodes. Cette lampe est constituée d'un corps en verre s'adaptant par rodage conique à la canalisation de pompage et présentant une extrémité démontable en verre soudée au corps de la lampe par de la picéine, cette partie supporte le filament ; on peut la démonter pour le changer lorsqu'il est grillé.

Voici comment on procède dans la pratique courante ; on fait tout d'abord jouer à la jauge le rôle d'un tube témoin en réunissant séparément aux bornes d'une bobine le filament non allumé et la grille, on observe alors dans la jauge les phénomènes de fluorescence précédemment décrits. Lorsque la jauge est bloquée on peut alors allumer son filament sans risque et

appliquer entre la grille et le filament une tension continue égale à 120 volts, de façon que la grille soit positive par rapport au filament. Dans ces conditions, il s'établit un courant électronique filament-grille dont on fixe la valeur à 20 milliampères en agissant sur le chauffage du filament. Les électrons qui composent ce courant rencontrent les molécules de gaz résiduel et les transforment en ions positifs. Le nombre d'ions positifs produits

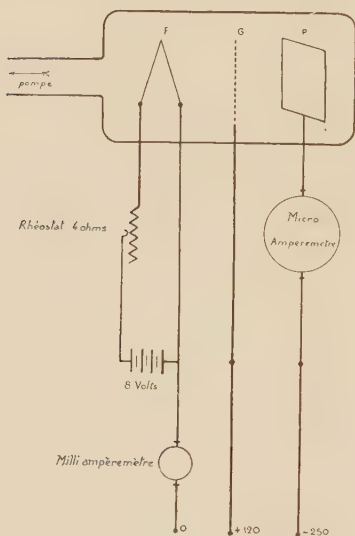


FIG. 12

Schema d'une jauge à ionisation

par seconde est proportionnel à la pression du gaz résiduel. Ces ions positifs sont captés par la plaque qui est portée à un potentiel négatif de 250 volts. L'indication du microampère inséré dans le circuit de plaque est donc proportionnelle à la pression prégnant dans le micromanomètre. Le coefficient de proportionnalité, variable avec la nature du gaz contenu dans le micromanomètre peut-être pris égal à $2,10^{-2}$ pour le gaz ordinairement contenu dans les électrodes (ici air et vapeurs d'huile).

On a donc :

$$p = 2,10^{-2} \times i$$

Dans cette formule, i est exprimé en microampères et p en baryes.

Il est inutile, lorsqu'on veut faire avec cet appareil des mesures précises, de débarrasser les électrodes des gaz qu'elles contiennent. Pour cela on porte au rouge la plaque du micromanomètre par bombardement électronique, en l'établissant à un potentiel de 1000 à 2000 volts par rapport au filament et en chauffant le filament de façon à lui émettre un courant électronique de 100 à 200 milliampères. Il ne faut pas prolonger cette opération au-delà de quelques minutes, pour ne pas surchauf-

fer trop longtemps le filament. La tension de 2000 volts nécessaire à l'échauffement de la plaque est aisément obtenue au moyen d'un transformateur, car il n'est pas indispensable que ce soit une tension continue. Pendant l'opération, la grille peut être laissée potentiel de : + 120 volts.

Nous nous sommes servis pendant longtemps pour l'alimentation du filament, de la grille et de la plaque, de batteries d'accumulateurs ; mais depuis quelques temps nous utilisons un montage spécial alimenté directement par courant alternatif de 110 volts 50 P dont nous donnons le schéma ci-dessous au (fig. 13).

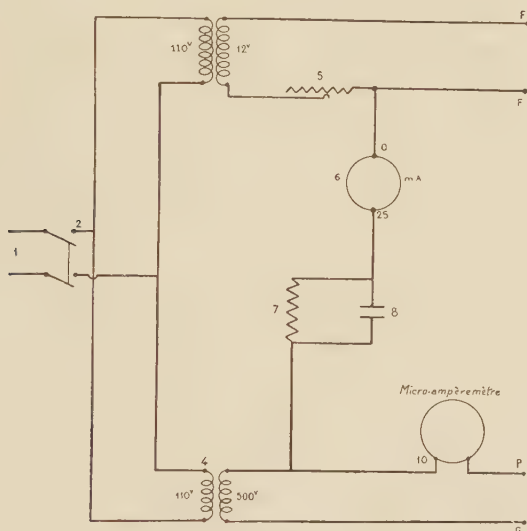


FIG. 13

Schema de montage d'alimentation électrique de la jauge à ionisation.

On allume le filament et on manœuvre le rhéostat 5 jusqu'à porter la valeur du courant électronique à la valeur de 20 m A. On lit alors le courant d'ionisation en microampères ; comme nous l'avons vu la pression est mesurée par la formule $p = K \times i$; p est la pression en millimètres de Hg et i le courant en microampères ; K une constante qui dépend de la nature du gaz. Pour les vapeurs d'huile de la pompe à condensation,

$K = 0,03 \cdot 10^{-5}$. Dans notre appareil qui a été nettoyé à la benzine et qui par conséquent dégage des vapeurs de benzine et de la vapeur d'eau, on peut appliquer un coefficient moyen de $0,33 \cdot 10^{-5}$. Dès que le courant d'ionisation atteint 15 microampères, la pression répond à $0,33 \times 15 \times 10^{-5} = 5 \times 10^{-5}$ mm de mercure. Remarquons que lorsque la pompe est une pompe à vapeur d'huile, et que le courant d'ionisation est inférieur à un microampère, on admet que le gaz résiduel est uniquement de la vapeur d'huile.

En général nous cherchons à rester autour de 20 à 30 micro-ampère, c'est-à-dire à 10×10^{-5} m/m de mercure environ, et c'est à partir de ce moment que nous mettons le tube en charge. Le micromanomètre étant très sensible, on suit assez facilement tous les phénomènes de dégagement qui peuvent se produire au cours du fonctionnement avec une anticathode neuve, un filament neuf, ou encore après un démontage ; cette surveillance doit être très étroite au début du fonctionnement surtout. D'autant que le microampèremètre étant un appareil très fragile, il importe de le ménager et de veiller à ce qu'il ne soit pas traversé par un courant trop fort.

5) L'ALIMENTATION DU TUBE

Le filament de chauffage du tube démontable est alimenté par un transformateur ordinaire à grand isolement, donnant au secondaire un courant alternatif de 50 périodes pour 7 volts. L'intensité est réglée par un rhéostat sur le primaire avec milliampèremètre dans le circuit. La sortie du secondaire se fait par une antenne isolée en bakélite.

Dès nos premières expériences le tube fonctionnait en auto-redresseur, sa mise en charge était obtenue à l'aide d'un transformateur dont un des pôles du secondaire était à la terre. Le réglage se faisant par un rhéostat et un autotransformateur sous le contrôle d'un voltmètre sur le primaire. Connaissant le coefficient de transformation, nous avons tracé une courbe nous permettant de connaître à chaque instant le voltage en circuit ouvert aux bornes du secondaire en fonction du voltage pri-

maire. Une seconde courbe corrigée nous donnant le voltage lorsque le tube était en charge.

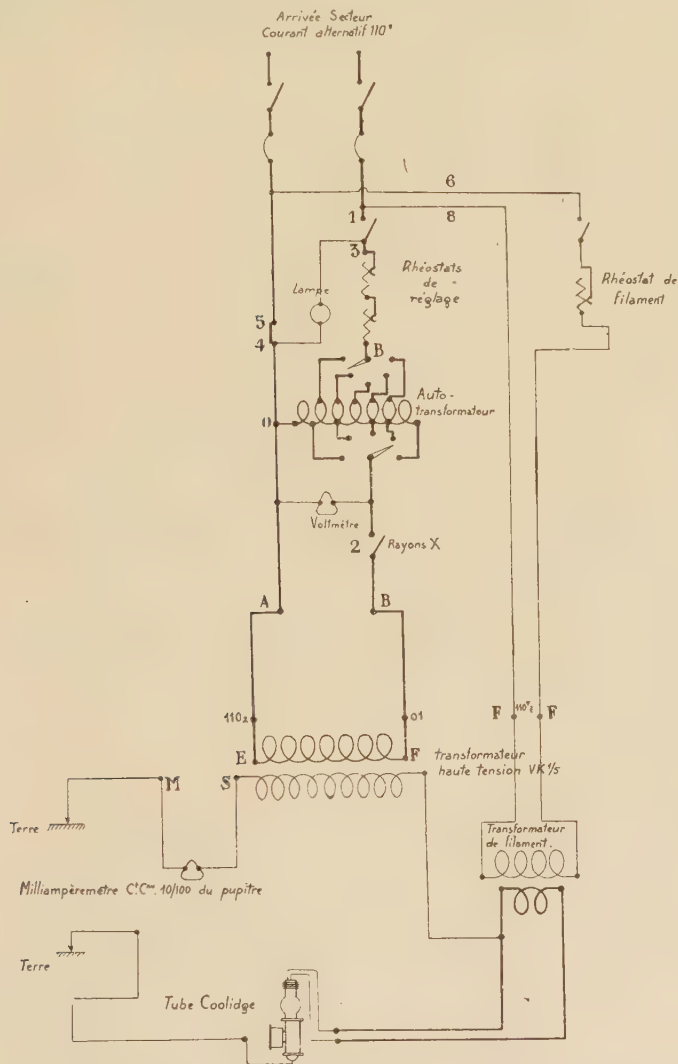


FIG. 14

Schema du montage électrique d'alimentation du tube à Rayons X

L'intensité dans le tube était lue, au tableau de commande, sur un milliampèremètre branché entre le milieu du secondaire et la terre.

Avec cet appareillage très simple, nous avons du travailler dans nos recherches entre 15 K.V. et 1 K.V. avec des intensités variant entre 50 et 100 m. A. Nous donnons ci-dessous le schéma de montage (fig. 14).

Pour être à l'abri des variations du secteur et avoir un rayonnement plus régulier, nous avons fabriqué un petit générateur nous donnant en tension constante des tensions pouvant varier entre 500 et 5.000 volts.

Nous donnons ci-dessous le schéma de montage (fig. 15) En I_1 , l'interrupteur général qui met la tension sur l'autotransformateur A et allume les kénotrons K_1 et K_2 sans réglage des filaments.

En TK_1 et TK_2 sont les transformateurs des filaments des kénotrons. Les primaires sur 110 volts avec spires variables de 100 à 130 volts ; ces secondaires donnant 5 ampères sous 4 volts. Nous avons essayé l'isolement entre le primaire et le secondaire jusqu'à 20.000 volts ; cet isolement est en toile enroulée.

Le Voltmètre V indique la tension primaire appliquée au transformateur. Cet autotransformateur AT a six sorties ; il permet de diviser la tension du secteur.

1.....	55 volts
2.....	67 »
3.....	78 »
4.. ..	90 »
5.....	102 »
6.....	115 »

Ces tensions sont lues au voltmètre primaire.

L'interrupteur de haute tension est en I_2 et en R. est intercalée une résistance de 60 ohms en série avec le primaire du transformateur de haute tension en charge.

Le transformateur de haute tension en T a un primaire à prises variables de 100 à 130 volts ; il y a deux secondaires en série avec point milieu à la masse (au sol) ; la puissance est d'environ 400 watts.

En K_1 et K_2 les 2 kénotrons sont chauffés chacun sous

5 ampères, 4 volts ; une capacité C disposée aux bornes du transformateur et chargée par le courant redressé des kénotrons alimente le tube à rayons X. La valeur C est calculé de la ma-

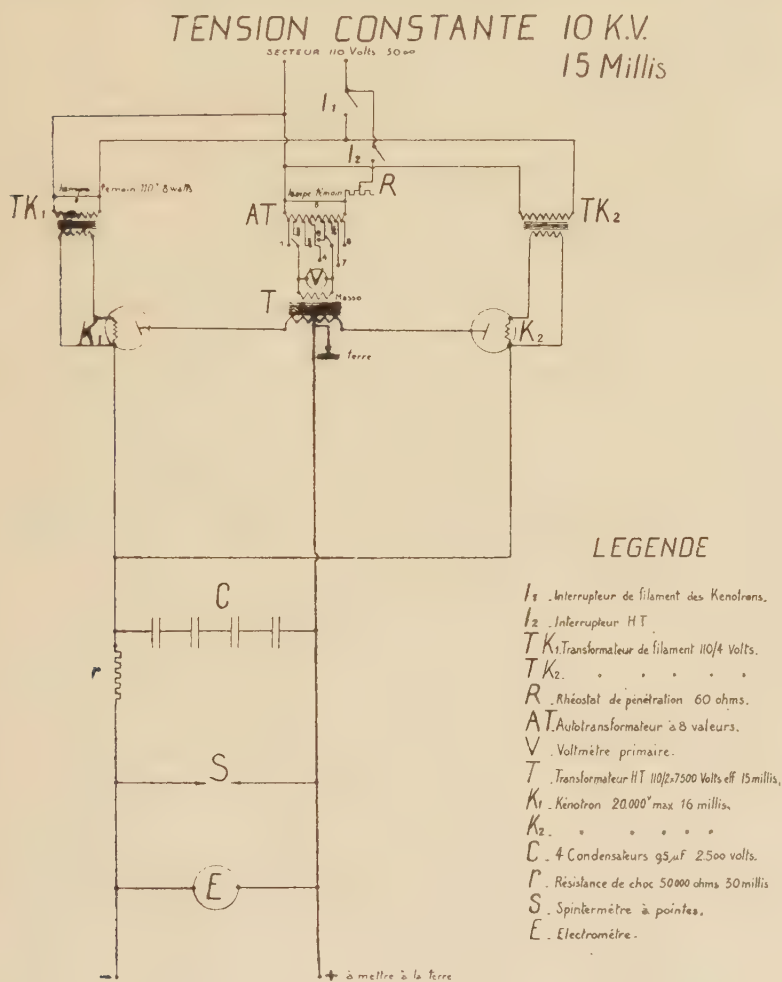


FIG. 15

Schéma du montage en tension constante.

nière suivante : La capacité C chargée pendant $1/4$ de période jusqu'à la tension U_0 prend une charge qui atteint, pour cette tension, la valeur Q_0 .

$$Q_o = C U_o$$

Pendant le $1/4$ de période suivant la capacité C se décharge dans la résistance R (c'est-à-dire le tube) suivant la forme connue et pendant la seconde alternance, U suit à nouveau le sinussoïde du secteur.

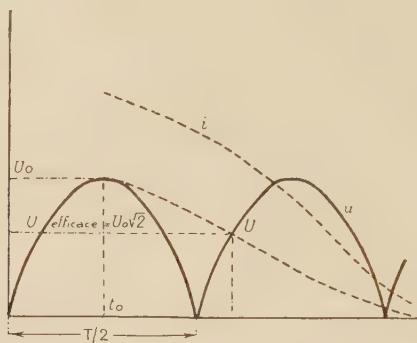


FIG. 16

Si l'on donne $\frac{U_o - U}{U_o}$ c'est-à-dire la variation relative de la tension aux bornes du condensateur en %, la capacité se trouve définie en grandeur.

Q_o et Q étant les charges à l'instant t_o et t .

on a
$$Q_o - Q = C(U_o - U)$$

ou
$$Q_o - Q = \int_t^{t_o} i dt$$

i était le courant instantané au temps t de charge du condensateur parcourant l'ampoule.

$$Q_o - Q = I \text{ moyen} \times T/2$$

Les limites t et t_o donnent en fait une différence inférieure à $T/2$, mais il vaut mieux être dans des conditions plus défavorables.

D'où si n est en %, la variation que l'on se donne on a

$$C \times n/100 \times U_o = I \text{ moy} \times T/2 \quad : \quad C = \frac{I \text{ moy} \times 100T}{2 U_o \times n}$$

d'où si l'on veut au moins $n = 5\%$

I moyen....	15 milliampères
T	= 0.02 secondes
U_0	= 10.000 vols
on a	$C = 0,3. 10^{-6} F$

La tension aux bornes du tube est mesurée par un voltmètre électrostatique qui donne des mesures précises entre 500 et 5.000 volts. Cette lecture directe de la tension nous a permis de travailler avec plus de sûreté et nos résultats sont depuis plus constants. Toutefois comme les kenotrons que nous avons employés sont un peu faibles ce générateur ne débite qu'une intensité réduite, que ne compense pas le meilleur rendement du tube sous une tension constante. Mais il faut remarquer que le faisceau de rayons X ainsi produit est plus homogène et nous permettra dans l'avenir, d'obtenir plus facilement, par filtration, un rayonnement monochromatique.

Les tensions que nous avons utilisées jusqu'ici ont pu être abaissées jusqu'à 1.000 volts ce qui correspond à une longueur d'onde limite de 12 Å. Soit une longueur d'onde moyenne de 18 Å, si l'on utilise la formule

$$\lambda_m = 1,3 \lambda_0$$

ou λ_0 est la longueur d'onde limite pour une tension constante V_0 , λ_0 est donnée elle-même par la relation classique de PLANCK EINSTEIN

$$eV_0 = h\nu_0 \text{ d'ou l'on tire } \lambda_0 = \frac{hc}{eV_0}$$

ou e est la charge d'un électron

V la tension maximum.

h la constante universelle de PLANCK

ν la fréquence,

c la vitesse de la lumière

$$\text{Soit en unités Å : } \lambda_0 = \frac{12340}{V \text{ volts}}$$

Mais la plupart de nos radiographies se font aujourd'hui à une tension de 2.000 volts, c'est-à-dire, avec des longueurs d'ondes deux fois plus petites. Soit 6 Å pour la longueur d'onde limite et 9 Å pour la longueur d'onde moyenne.

CHAPITRE II

L'ÉMULSION RADIOGRAPHIQUE

I) SA RÉALISATION

C'est dans la réalisation de l'émulsion sensible que se trouve en réalité la solution du problème. Les plaques sensibles livrées par le commerce, même celles qui sont présentées comme n'ayant pas de grain, ont en réalité un grain très grossier pour le but que nous poursuivons.

Au cours de ces dernières années, les progrès réalisés par les fabricants de films sensibles ont été considérables, mais ces progrès ont presque tous été dirigés vers un seul but : l'augmentation de la sensibilité. Or, on sait qu'une grande sensibilité est toujours en relation directe avec la grosseur du grain, les émulsions les plus rapides étant en général celles qui sont constituées par les grains les plus gros. Pour la lecture des images radiographiques ordinaires, la grosseur du grain n'est pas gênante et les émulsions à gros grains sont utilisées couramment sans aucun inconvénient, d'autant qu'il est exceptionnel d'agrandir les images obtenues puisqu'au contraire on les réduit souvent pour les rendre moins encombrantes.

Nous avons essayé de nombreuses variétés d'émulsions dont la plupart nous ont été aimablement offertes par les différents fabricants, mais aucune, même les plaques en collodion, n'ont pu nous donner satisfaction ; à un grossissement souvent inférieur à 100 D le grain apparaît et les clichés obtenus sont inutilisables pour nous.

Nous avons alors repris l'idée de DAUVILLIER qui avait employé des émulsions de Lippmann ou du type Lippmann.

Nous avons essayé différents procédés de fabrication ; tout d'abord, le plus simple qui avait été préconisé par les Laboratoire Cotton était le suivant :

On fait dissoudre dans 50 cm³ d'eau tiède (au-dessous de 40° C) 2 gr 5 de gélatine très pure (nous avons employé de la gélatine pure livrée par les laboratoires Merk de Darmstadt). La solution est ensuite filtrée à chaud, cependant toujours au-dessous de 40° C ; après filtration on ajoute 3 cm³ d'une solution d'argent colloïdal à 10 %. Les plaques sont lavées soigneusement avec une solution étendue d'un acide volatil afin de les débarrasser de toute impureté, puis séchés. Après quoi on repère exactement la face creuse du verre, le verre dit plan présente en effet une surface légèrement cylindrique de très grand diamètre. Cette face creuse est enduite d'une couche très mince de silicate. Après séchage, on ponce la couche silicatée en la frottant vigoureusement avec un vieux chiffon. La plaque est alors disposée dans un plan rigoureusement horizontal à l'aide de 3 vis calantes et d'un niveau. Si l'on désire limiter la surface à impressionner, on en trace le cadre extérieur sur le verre avec un crayon du genre dermatographique. Sur la cuvette ainsi obtenue, on verse à l'aide d'une pipette au centre, l'émulsion suffisamment fluidifiée et on laisse sécher dans cette position. On peut également procéder différemment avec un peu d'habitude en maintenant l'envers de la plaque par une ventouse en caoutchouc que l'on tient à la main et en coulant directement l'émulsion sur la face libre. Par un jeu de balancement on arrive à obtenir un étalement régulier si la couche n'est pas très épaisse. Nous avons surtout procédé de cette façon. Les opérations que nous venons de décrire sont effectuées en pleine lumière. Le séchage de l'émulsion était obtenu à la température du laboratoire dans une caisse spéciale qui n'admettait que de l'air filtré et par conséquent débarrassé de ses poussières.

Après le séchage, l'émulsion est sensibilisée ; par immersion de la plaque dans une solution de sulfate de cuivre à 2% additionnée de 2% de bromure de potassium ; ces manipu-

lations se font sous une lumière jaune, ou sous la lumière très atténuée d'une bougie ; la plaque devient alors absolument transparente et elle est lavée à l'eau distillée. Après lavage et dans l'obscurité on augmente encore sa sensibilité par immersion pendant une minute dans une solution de nitrate d'argent à 0,5 %. On lave à nouveau largement à l'eau distillée et la plaque est mise au séchage dans une boîte spéciale absolument étanche à la lumière, peinte intérieurement en noir mat et dans laquelle l'air qui pénètre est filtré dans une série de chicanes destinées à arrêter les poussières en même temps que les rayons lumineux. Avec les moyens dont nous disposions, la préparation d'une série de plaques demandait 48 heures. Après cette dernière opération de séchage on vérifiait sur une ou plusieurs plaques prises au hasard la sensibilité de l'émulsion à la lumière ordinaire et à la lumière artificielle.

La sensibilité des émulsions ainsi obtenues s'est toujours montrée très réduite, les temps de pose variant suivant l'intensité de la source de plusieurs minutes à une heure pour le spectre visible.

Le développement se fait de préférence au révélateur métohydroquinone ; nous avons essayé d'ailleurs, avant de nous arrêter sur ce révélateur, différents bains qui nous ont donné des résultats moins intéressants.

La vérification de la qualité de l'émulsion étant faite, nous utilisons les plaques dans notre appareillage spécial. Ces plaques, déjà peu sensibles à la lumière ordinaire, ont montré une sensibilité encore plus faible aux rayons X et une très grande irrégularité dans les résultats. Dans certains cas il nous a fallu faire des poses de 24 heures pour obtenir des images à peine lisibles. Au cours de ces longues expositions, nous avons pu constater plusieurs fois du noircissement direct.

L'inconstance des résultats et le défaut de sensibilité nous ont obligé à chercher d'autres procédés de fabrication en même temps qu'elles nous conduisaient à modifier notre appareillage.

Nous basant sur un très intéressant travail de M. N.

LEROY (1), nous avons préparé des émulsions à l'argent colloïdal comme nous l'avons indiqué précédemment en faisant varier les bains sensibilisateurs. Les plaques dont nous avons décrit la préparation ci-dessus étaient des plaques au bromure ; nous avons essayé successivement les plaques à l'iodure en employant des bains de la composition suivante :

K I.....	2 gr.
So ⁴ Cu	2 gr.
Eau	100 gr.

et des plaques au chlorure avec :

Na Cl.....	2 gr.
So ⁴ Cu	2 gr.
Eau	100 gr.

Nous avons également essayé le procédé préconisé par Ch. de WATTEVILLE (2), mais il est plus compliqué et nous l'avons abandonné. M. REBOUL, professeur de Physique à la Faculté des Sciences de Montpellier, a bien voulu nous donner la technique de préparation des plaques Lippmann qu'il avait fabriquées lui-même dans le laboratoire de ce dernier. Nous avons essayé avec succès la méthode lorsque nous avons été débarrassé du souci de la fabrication. Le procédé de Lippmann est le suivant :

Faire tremper pendant 10 minutes, 7 gr 5 de gélatine dans 150 gr. d'eau distillée, et faire dissoudre ensuite à chaud, dans un récipient de verre et filtrer. Puis, dans l'obscurité relative (lumière rouge) verser, 100 cm³ de cette solution chaude de gélatine, 43 centigrammes de Bromure de potassium et ajouter ensuite 75 centigrammes de nitrate d'argent en agitant doucement pour éviter les bulles d'air à la température de 40° C. jusqu'à disparition complète des cristaux. A ce moment, on coule la préparation sur verre.

Enfin, signalons en passant qu'il aurait peut-être été intéressant aussi d'essayer un procédé préconisé par Auguste et Louis LUMIÈRE (3).

1) M. N. LEROY. — Revue d'optique Juin-Juillet 1929, n° 6 et 7, p. 262.

2) Photo-revue 15 Mai 1920, p. 78-79.

15 » » p.90-92.

3) Société française de photographie, 5 Mai 1893.

Entre temps, nous avons été amené à supprimer le support en verre pour le remplacer par un support souple en acétate de cellulose. Pour utiliser les plaques de verre dans notre appareillage, il nous fallait découper des plaques de dimension plus restreinte dans les plaques émulsionnées que nous avions préparées ; cette opération de découpage était délicate et abîmait souvent les émulsions sensibles. Aussi nous avons eu l'idée de décaper avec soin des films radiographiques ordinaires, de les découper sous forme de longues bandes de 40 cm. de long et de plonger ces bandes dans le mélange gélatine argent colloïdal ou dans l'émulsion de Lippmann. L'adhérence était excellente ; il suffisait de suspendre par un coin le film et de le laisser sécher. On choisissait ensuite les parties sur lesquelles l'émulsion paraissait la plus homogène et on découpait des fragments aux dimensions désirées. Les fragments ainsi détachés subissaient ensuite les mêmes préparations que celles décrites plus haut. Nous avons procédé de la même façon pour les émulsions Lippmann ; cette modification a été malgré sa grossièreté une amélioration sensible. En effet, lors du montage des objets à radiographier qui se fait à la lumière rouge très atténuée, il est quelquefois difficile de reconnaître le côté émulsionné d'une plaque parce que l'émulsion est transparente ; sur le film émulsionné des deux côtés, cette erreur n'est plus à redouter. Enfin, le montage du cliché développé est beaucoup plus aisé.

Malgré tout, dans un laboratoire non spécialisé, il est toujours difficile d'obtenir de bons films, régulièrement sensibles nous nous sommes adressés alors à des laboratoires industriels et après nous être heurté à pas mal d'indifférence, nous avons enfin trouvé une maison qui s'est intéressée à nos recherches. La firme photographique belge GEVAERT a bien voulu nous fabriquer des émulsions spéciales qu'elle nous a généreusement offertes et qui nous ont permis de travailler avec certitude et régularité. Elle nous a débarrassé de cette délicate, et fastidieuse et décevante opération qui est la fabrication des émulsions sensibles. Elle nous a tout d'abord présenté un film sensible à

grains fins qui était à base d'acétate litholine. Ce film nous a donné des résultats très intéressants, son développement se faisait d'une façon suivante :

Solution A : Eau chaude (52° c)..... 2 litres
 Sulfite de soude anhydre 120 grammes
 Acide borique..... 30 »
 Hydroquinone..... 90 »
 Bromure de K..... 6 gr.3
 ajouter eau froide pour
 faire..... 3 litres

Solution B : Eau 38°..... 750 cc.
 Métabisulfite de potasse... 10 gr.5
 Sulfite de soude..... 1 gr
 Paraformaldehyde..... 30 gr
 Phénosafranine, solution
 à 1/1000.. 20 cc
 ajouter eau froide pour
 faire..... 1 litre

(Pour l'emploi on développait avec 1/4 solution A pour 3/4 solution B, pendant 3 minutes à 11°). Ces films présentaient cependant un grain assez gênant dès que l'on voulait pousser les grossissements au-delà de 100 D. Aussi la maison Gevaert a bien voulu encore nous fabriquer des films avec une émulsion du type Lippmann qu'elle perfectionne sans cesse et ce sont ceux que nous utilisons aujourd'hui. Nous ne donnons pas les détails de leur préparation que nous ne connaissons pas exactement mais simplement quelques études de laboratoire qui nous ont été communiquées et que nous donnons ci-dessous.

Le révélateur utilisé pour ces films est un révélateur ordinaire :

Eau..... 1.000 cc
 Métol..... 1 gr 5
 Hydroquinone.... 6 gr
 Sulfite de soude an-
 hydre 37 gr (cristallisé 75 gr)
 Carbonate de soude 37 gr(« 100 »)
 bromure de potasse 1 gr

développement 2 minutes à 16°-18° C.

Le fixage ne doit pas dépasser 10 minutes et se fait avec sa solution :

Eau.....	1000 cc
Hyposulfite de soude..	300 gr
Métabisulfite.....	25 gr

Les caractéristiques du film Gevaert sont les suivantes :

Si l'on considère un diagramme densographique comme celui représenté par la figure 17 dans laquelle les chiffres placés au sommet des courbes indiquent les minutes de

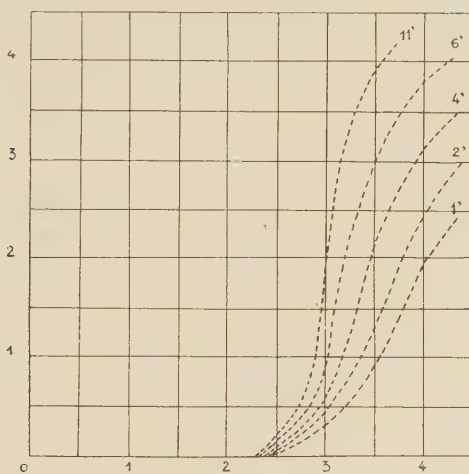


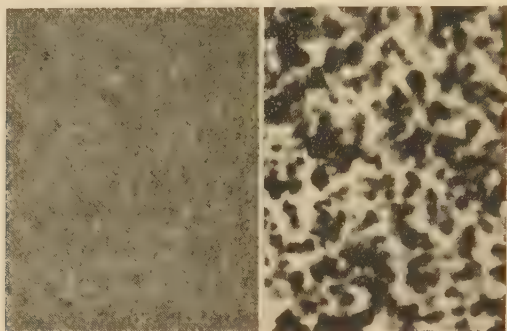
FIG. 17

Diagramme densographique du film Gevaert (type Lippmann). La source lumineuse intéressée est une lampe à incandescence.

développement, il est intéressant d'observer qu'un développement prolongé a pour effet d'accentuer constamment la gradation sans provoquer de voile. Il est à noter que ces mesures ont été faites à la lampe à incandescence ; s'il était fait usage de rayons X par exemple de 5 K. V., la gradation serait plus douce par suite de l'absorption dans la gélatine.

Nous donnons (figure 18 A) une microphotographie au grossissement linéaire de 900 d'une émulsion Gévaert développée ; elle montre que le grain ne doit être gênant

qu'au-dessus de 500 ; la figure 18 B donne vue au même grossissement que les grains d'une plaque du commerce ordinaire.



A FIG. 18 B
Microphotographies gros : 900 D.
A) Emulsion Lippmann Gévaert.
B) Emulsion ordinaire.

Enfin une courbe sensitométrique spectrale en lumière ordinaire (figure 19) pour un spectre dont l'énergie ne varie pas avec la longueur d'onde nous a été communiquée par les laboratoires Gévaert, elle montre que vers les courtes longueurs

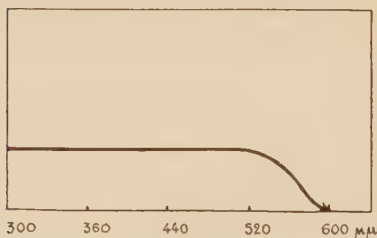


FIG. 19

Courbe sensitométrique spéciale en lumière ordinaire du film Gévaert. La courbe est établie pour un spectre dont l'énergie ne varie pas avec la longueur d'onde.

d'onde, la courbe ne paraît pas s'abaisser et il est possible qu'elle s'élève pour les radiations X de grande longueur d'onde ; ce point n'a pas été vérifié.

A noter que la qualité du grain pourra être améliorée en rendant plus douce la gradation du film.

Il est donc possible que dans un avenir très prochain, nous disposions de films supportant encore de plus forts grossissements. De toute façon, nous avons là des films qui présentent les grains les plus fins obtenus jusqu'à ce jour et qui conviennent parfaitement pour la réalisation de nos microradiographies

CHAPITRE III

APPLICATIONS ET RÉSULTATS OBTENUS

I) TECHNIQUE

Nous avons eu surtout en vue la radiographie de coupes de tissus animaux. Nous nous sommes donc adressés aux coupes telles que les utilisent les histologistes. Après avoir été excisés, les fragments de tissus sont tout d'abord fixés ; en général, on se sert de solution formolée ; après un séjour de quelques heures dans la solution, la pièce est incluse dans un bloc de paraffine ; ce bloc de paraffine, convenablement orienté, est ensuite porté sur le microtome où les coupes sont faites ; leur épaisseur est variable ; un bon microtome peut donner des coupes de 5 μ et même de 3 et 1 μ . Il y a intérêt à prendre les sections les plus fines car la radiographie étant une projection d'ombres, il est indispensable d'éviter toutes les superpositions ; souvent à cause d'elles la lecture du cliché est difficile et semée de causes d'erreurs. Les coupes très fines sont cependant fragiles et demandent une manipulation délicate. Le microtome débite ces coupes sous formes de ruban ; mais il ne saurait être question de les utiliser ainsi ; il faut donc d'abord les débarrasser de la paraffine ; après avoir choisi une ou deux coupes bien régulières on les porte dans un petit cristalliseur contenant du xylol. Après un séjour de quelques minutes (cinq à six suffisent en général), à l'aide d'une petite baguette de verre fin et moussée on pêche les coupes et on les porte dans de l'alcool où elles doivent baigner pendant 5 à 6 minutes ; on les lave ensuite dans un cristalliseur contenant de l'eau distillée où elles séjournent encore quelques minutes ; à ce moment on les amène délicatement sous l'eau contre une

lame de verre (2 cm. de large sur 7 à 8 de long) que l'on tient inclinée et sur laquelle on les fait adhérer par contact. Lorsque celui-ci paraît bon on retire lentement le verre et la coupe y reste collée. Après avoir épongé au papier filtre l'excès d'eau sur la lame sans toucher à la coupe de crainte de l'abimer, on la porte dans la chambre noire ; il suffit alors d'appliquer contre la coupe la face sensible de film radiographique en exerçant une légère pression pendant 2 à 3 secondes ; en séparant aussitôt après le film du verre, la coupe reste adhérente au film. Il importe de ne produire aucun glissement pour ne pas déchirer le tissu. La plaque supportant la préparation est alors montée sur le châssis préposé à cet usage de telle sorte que la coupe tournée vers la camera réponde exactement à l'ouverture d'un diaphragme fixe sur le châssis et exactement centré sur le faisceau de rayons X.

Nous avons utilisé aussi les coupes de tissus obtenues par congélation ; ces coupes demandent simplement avant leur utilisation un lavage à l'eau distillée, mais on ne peut les obtenir sous des épaisseurs aussi faibles que celles données par l'inclusion à la paraffine.

Nous avons également essayé les coupes dites à la celloïdine qui, en histologie, donnent d'excellents résultats ; nous avons rencontré de grosses difficultés d'application et nous n'avons pas insisté ; il nous a paru en effet pour l'instant difficile de se débarrasser convenablement de la celloïdine qui est opaque à nos rayons. La plaque mise en place avec sa préparation, la chambre photographique est obturée ; on fait le vide et au moment voulu on met le tube en charge. La durée d'exposition varie avec la nature du filtre et la distance anticathode film. Nous opérons en général à 8 cm. du foyer. Avec un filtre d'aluminium de 4 μ nous obtenons un bon cliché en 5 minutes sous une tension de 5K. V. et 80 mA. Avec un filtre de lithium, une minute d'exposition suffit dans les mêmes conditions. Pour des tensions inférieures à 3 K.V. nous employons uniquement le lithium, métallique ; à titre d'exemple : il faut 10

minutes d'exposition pour obtenir une bonne image sous un K. V. de tension et une intensité de 80 mA.

L'exposition faite, on coupe le pompage et on laisse refroidir le tube et les pompes sous vide pendant 20 minutes environ. A ce moment on peut laisser pénétrer l'air dans le tube ; la chambre photographique étant ouverte on enlève le châssis et le film est développé immédiatement. Auparavant on peut décoller la coupe de la gélatine, mais cette séparation peut sans inconvénient se faire spontanément au cours du développement, du fixage ou encore au cours du lavage qui se fait sous un mince filet d'eau dont le jet est brisé pour éviter d'abimer la couche sensible qui est à ce moment ramollie. On peut dans les cas difficiles aider le décollement à l'aide d'un pinceau fin. Le séchage est très rapidement obtenu car la couche de gélatine est faible; après que le film est découpé de façon à ne conserver que la partie irradiée qui répond à un cercle de 1cm de diamètre environ. On porte alors ce fragment de film sur une lame de verre comme celles généralement utilisées en histologie et sur laquelle on a déposé une petite goutte de baume du Canada, on recouvre le tout d'une mince lamelle couvre-objet, on met sous presse et on laisse en place pendant 24 heures. A ce moment le film est prêt à être examiné au microscope exactement comme une préparation histologique ordinaire.

Nous avons en général monté en même temps une coupe histologique jumelle prise immédiatement à côté sur le même ruban et nous l'avons colorée par diverses méthodes classiques en histologie, ceci pour faire des comparaisons.

Le réglage de l'intensité lumineuse dans l'éclairage du microscope doit pouvoir se faire facilement car il arrive que le film radiographique présente quelquefois une opacité assez grande, mais avec une bonne exposition on arrive à obtenir des images très convenables.

Si la prise d'un cliché demande un temps très court, la période préliminaire de pompage et la durée nécessaire du refroidissement avant l'ouverture de la chambre photographique

sont longues. Le rendement est faible. D'autre part il serait intéressant dans certains cas de pouvoir faire une série d'expositions sans ouvrir le tube, en utilisant des coupes semblables mais en faisant varier la qualité des rayons, par exemple en faisant varier la tension. Nous avons pour cela imaginé un châssis spécial qui permettra de prendre successivement une dizaine

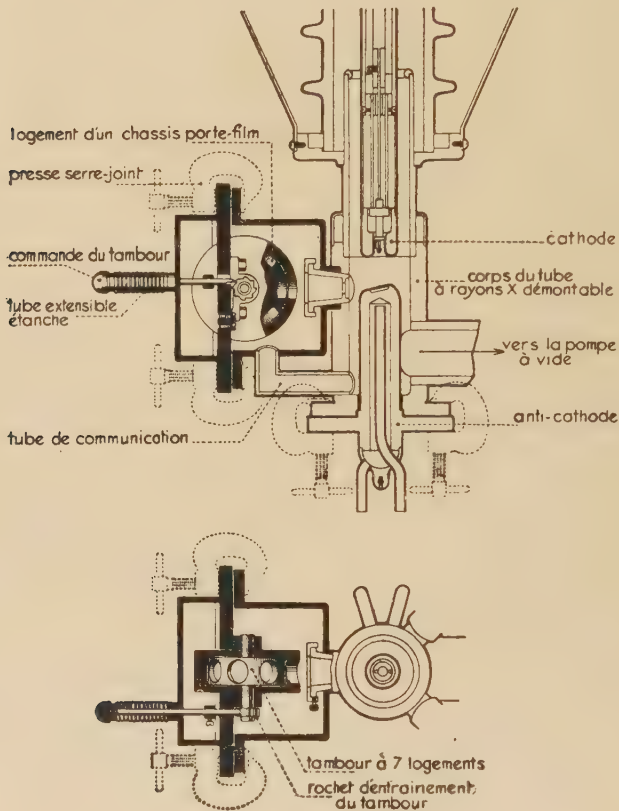


FIG. 20

de radiographies sans arrêter le pompage et sans ouvrir la chambre. Les systèmes préparations-film au nombre de sept sont placés sur un cylindre que l'on peut faire tourner de l'extérieur et disposés sur des petits châssis qui automatiquement et à tour de rôle peuvent être centrés sur le faisceau de rayons X. L'appareil en question dont nous vous donnons le schéma ci-dessus est en cours de fabrication (fig. 20).

Nous pensons grâce à son emploi améliorer largement notre technique.

Il ne faut pas perdre de vue que les radiographies ainsi obtenues auxquelles nous avons donné le nom d'*historiogrammes*, alors que nous avons baptisé la méthode : *historadiographie*, sont des négatifs c'est-à-dire que les parties claires du

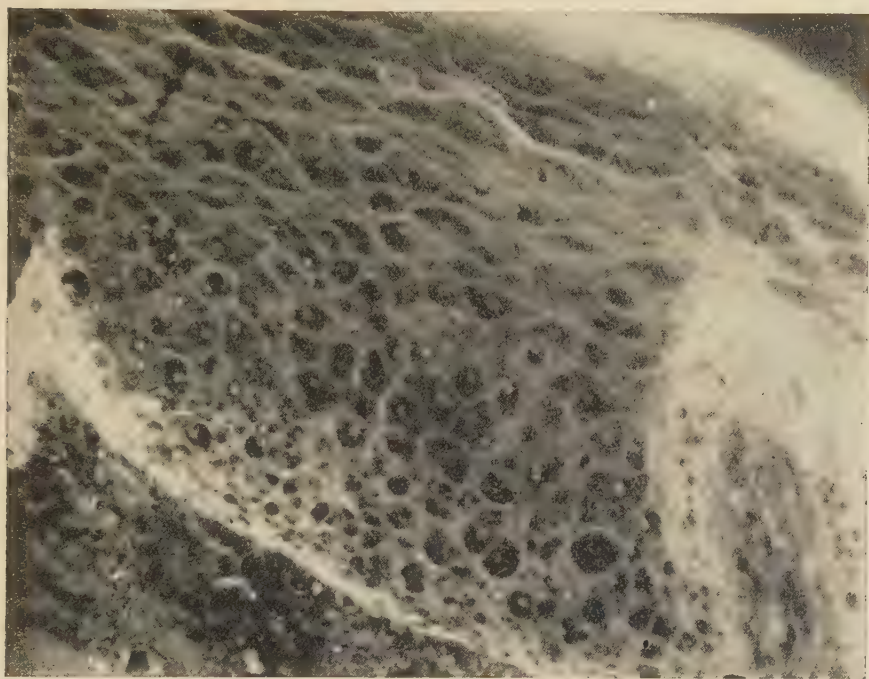


FIG. 21

Historadiogramme d'une coupe de l'épiderme (image négative.) Gros : 300 D.

film répondent aux parties opâques de la préparation et inversement; c'est donc une image négative mais alors que dans les préparations ordinaires on a affaire à des images colorées, ici il n'y a que du noir et du blanc (fig. 21). C'est un véritable « paysage lunaire » pour employer l'expression d'un anatomiste à qui nous soumettions ces images pour la première fois. Il est évident que malgré leur netteté, les aspects sont nouveaux, ils demandent, pour être interprétés, une nouvelle adaptation et une véritable rééducation de l'œil.

Nous avons obtenu de très beaux clichés que nous avons pu examiner à des grossissements de 400 à 500 D ; mais déjà à ces grossissements l'image perd un peu de netteté non seulement à cause des grains qui apparaissent, mais surtout très probablement à cause de la diffusion X sur la préparation et sur la couche sensible elle-même. La diffusion limitera d'ailleurs notre méthode. Nous avons constaté que l'étude était largement facilitée par la microphotographie et nous avons systématiquement pris des microphotographies de nos historadiogrammes et des coupes colorées correspondantes ; ceci nous a permis de faire des comparaisons fort intéressantes.

L'étude au microscope binoculaire est également recommandable car la vision est bien meilleure et on a une excellente impression de relief.

D'une façon générale en radiologie les images sont d'autant plus nettes que le foyer, source de rayons, est de dimension plus réduite.

Nous ne pouvons malheureusement pas utiliser un foyer fin car cela réduirait trop l'intensité du rayonnement ce qui gênerait en raison du peu de sensibilité des plaques. Sans modifier les dimensions du foyer nous pourrions augmenter l'énergie du faisceau de rayons X en utilisant des tensions élevées, l'énergie X croissant comme le carré de la tension ; mais la qualité du rayonnement nous oblige à travailler à bas voltage. D'un autre côté à cause de ce bas voltage il faut rapprocher considérablement la cathode de l'anticathode (2 à 3 mm) pour éviter une saturation trop rapide du faisceau cathodique ; ce rapprochement empêche de focaliser convenablement le faisceau cathodique. Nous pourrions encore établir un diaphragme punctiforme entre l'anticathode et le filtre, près du foyer ; nous avons l'intention d'essayer un jour ce montage, mais il nous faut prévoir une importante diminution de l'intensité entraînant un allongement considérable en temps de pose.

Par conséquent nous ne disposons que d'un faisceau relativement large limité par un diaphragme de 8 mm de diamètre. Notre préparation est à 8 cm. du foyer ; elle est très mince et

collée sur le film. Ces conditions nous autorisent-elles à considérer le faisceau comme parallèle?

Si nous considérons notre foyer comme représenté largement par un cercle de 4 mm de diamètre (fig. 22), ce qui est possible si l'anticathode est seulement inclinée à 45° soit FF' le diamètre du foyer; soit O le bord d'une partie de l'objet à radiographier; si P représente la plaque, il y aura en A B une zone de pénombre qui chevauchera sur l'image voisine; cherchons à calculer la valeur de AB :

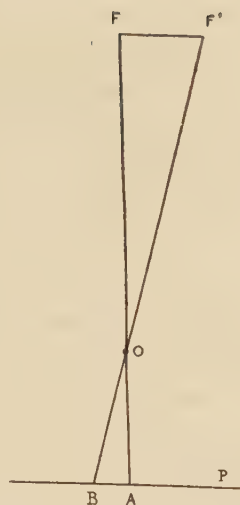


FIG. 22

$$\text{nous avons : } \frac{FF'}{AB} = \frac{FO}{OA}$$

$$\text{d'où } AB = \frac{FF' \times OA}{FO}$$

$$\begin{aligned} \text{Si } FF' &= 4 \text{ m/m} \\ FO &= 80 \text{ m/m} \\ OA &= 0 \text{ m/m } 003 \end{aligned}$$

$$\text{on aura } AB = \frac{4 \times 0,003}{80} \text{ m/m} = 0,00015 \text{ m/m}$$

$$\text{c'est à dire } AB = 0,15$$

C'est donc une valeur négligeable par rapport à la dimension des grains. Elle peut d'ailleurs être diminuée encore. O A est fixe, il suffira soit d'augmenter O F ce qui est possible, soit encore de diminuer F F', ce que nous avons fait d'ailleurs en utilisant une anticathode à peine inclinée pour n'avoir que le rayonnement tangentiel. Mais nous le répétons, avec les émulsions utilisées, c'est sans grand avantage car il faut augmenter le temps de pose. En réduisant le foyer à 1 mm. AB tomberait à 0,03; ce qui serait largement suffisant pour toutes les recherches.

Enfin, il faudrait, pour la netteté des images, étudier l'étendue de la diffusion des rayons X d'abord par l'objet, ensuite par la gélatine et l'argent de la couche sensible. Ces dernières considérations nous obligent à penser qu'il n'y a aucun avantage à diminuer trop considérablement les dimensions du foyer.

2) LES RESULTATS DE LA METHODE

Grace à la technique développée ci-dessus, il nous a été possible d'obtenir de très belles images de tissus et même de cellules. Nous sortirions sans doute du cadre de ce travail en exposant trop largement ici les détails de nos constatations d'ordre morphologique ou biologique.

A l'observation d'un historadiogramme, nous constatons une chose importante, c'est la présence de zones inégalement impressionnées dont le dessin général répond à l'aspect microscopique classique du tissu dans lequel a été pris l'objet. C'est donc sans contredit une image radiographique que l'on a obtenu. Il ne s'agit pas de l'action de la lumière émise par le filament cathodique, celle-ci est arrêtée par le filtre. D'ailleurs nous avons fait l'épreuve suivante : nous avons exposé le film dans la chambre photographique en allumant seulement le filament sans mettre de haute tension. Nous n'avons obtenu aucune image. Il ne s'agit pas non plus d'une action chimique de la préparation sur l'émulsion. Des préparations restées en contact pendant des heures avec l'émulsion n'ont jamais donné une image au développement. Ce sont bien les rayons X mous qui sont l'élément actif, car si on place un écran à l'intérieur de la chambre entre le film et le foyer on n'obtient aucune image et les rayons utilisés sont tellement mous que si l'on retourne simplement le film en présentant aux rayons sa face non émulsionnée, il est impossible d'obtenir un noircissement ; les radiations utilisées sont incapables de franchir l'épaisseur du support cellulosique qui ne dépasse pas cependant 0,5 mm. C'est une des raisons pour laquelle la technique de M. Sievert nous semble imparfaite.

Les ombres observées sont donc bien des ombres radiogra-

phiques et sont par conséquent sous la dépendance des différences d'absorption dans l'objet.

A quoi attribuer ces différences ? La coupe est constituée ou peut être dans son ensemble assimilée à une lame d'égale épaisseur ; nous verrons plus loin qu'il faut cependant faire quelques restrictions sur ce point.

L'objet étant d'épaisseur régulière, les différences dans l'absorption sont dues à des densités différentes des parties traversées par les rayons. Il s'agira donc soit de concentrations différentes, soit de poids atomiques différents dans diverses parties examinées. Nous savons que les rayons X sont d'autant plus absorbés quela densité des corps absorbants est plus élevée ; seront plus opaques les parties les plus lourdes. Nous aurons donc par cette méthode un procédé d'analyse pondérale fine. Les constituants biologiques sont en général formés par des composés ternaires ou quaternaires dans lesquels rentrent des éléments à poids atomique faible, mais où se glissent quelquefois des éléments lourds. La présence, de ces éléments lourds sera toujours décelée par des radiations plus pénétrantes ; il suffira alors de faire des historadiogrammes avec des tensions plus élevées (10 à 15 K. V.). Mais lorsqu'on voudra différencier des éléments plus légers de nombre atomique voisin il faudra comme nous l'avons vu, abaisser la tension et il devient évident qu'avec un rayonnement de très grande longueur d'onde, ces éléments légers se comporteront comme le font les éléments lourds pour des rayonnements plus pénétrants. C'est le cas du soufre par exemple que l'on retrouve dans les couches kératinisées de la peau et qui donne à partir de 5 K. V. une très grande opacité (fig. 23).

Nous avons pu faire de très intéressantes observations sur des tissus normaux et même pathologiques.

Ce ne sont pas seulement les tissus qui ont présenté de l'intérêt, mais la cellule elle-même ; en effet, nos historadiogrammes sont assez nets pour obtenir des agrandissements satisfaisants jusqu'à 300 D et même au-delà et nous avons pu constater que contrairement à ce que l'on pensait, le noyau ne conte-

nait pas toujours des éléments lourds puisqu'il paraissait dans quelques cas absolument transparent et que c'était même la partie la plus transparente de certaines cellules malpighiennes. L'opacité paraît souvent se concentrer sur un petit organe encore un peu connu quant à ses fonctions, mais auquel les histologistes paraissent vouloir attribuer depuis quelques temps, une assez grande importance : le nucléole. C'est ce qui nous a entraîné à penser qu'il devait contenir soit les éléments les

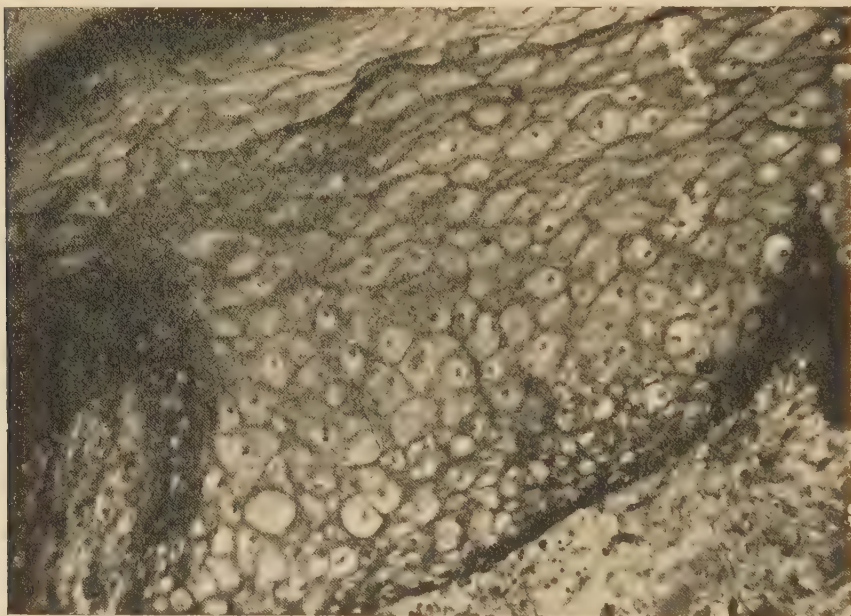


FIG. 23

Historadiogramme d'une coupe d'épiderme (c'est l'image *positive* de la fig. 21.)

plus lourds, peut-être métalliques, soit des éléments plus légers, mais très concentrés, soit les deux à la fois. Il s'agirait d'une sorte de réserve cellulaire en éléments lourds, peut-être en métaux.

Nous verrons plus loin quelles hypothèses nous avons cru pouvoir bâtir sur ces considérations nouvelles.

L'analyse pondérale dont nous avons parlé nous a con-

duit à des recherches plus particulières, que nous avons à peine ébauchées avec M. TURCHINI, Professeur d'Histologie à la Faculté de Médecine de Montpellier. C'est la recherche de corps étrangers introduits dans la cellule : poisons, médicaments, etc. Nous avons recherché le bismuth et l'arsenic contenus dans des tissus, et nous avons retrouvé ces corps sous forme de petits grains d'une grande opacité à l'intérieur de certains tissus comme la rate (fig 24). Ces localisations venant concorder exactement avec les méthodes histochimiques déjà anciennes, nous avons donc là un moyen précis et nouveau dans les recherches fines.

3) LES POSSIBILITÉS DE LA METHODE

Mais le procédé peut présenter d'autres avantages indiscutables dans le domaine de l'analyse chimique microscopique qui constitue l'histochimie, branche première de l'histophysiologie. Jusqu'à ce jour les procédés d'examen des tissus ou des cellules sont basés sur les propriétés chimiques de constituants cellulaires, mais pour observer ensuite les réactions chimiques il faut s'adresser au microscope et il importe que le réactif soit coloré. Or, les agents chimiques qui laissent une trace chromatique sont rares et par suite les recherches sont rapidement limitées. Les progrès des méthodes par coloration ne sont pas réguliers ; ils procèdent par bonds, un peu au hasard, suivant la chance, dans l'essai d'un nouveau réactif. Ces chances deviennent chaque jour moins nombreuses. La méthode que nous préconisons est pleine de promesses et permettra au chimiste de jouer un rôle plus important. Toute la gamme des réactifs devient utilisable ; avec notre procédé il n'est pas nécessaire de demander au réactif d'être coloré. Il faut simplement que la réaction chimique modifie en plus ou en moins l'opacité de l'objet examiné. Une combinaison chimique avec un élément lourd augmentera l'absorption de rayons X ; une combinaison avec un élément plus léger la diminuera. Le Professeur TURCHINI a déjà réussi sur ce point à localiser l'iode dans une glande à sécrétion interne : en

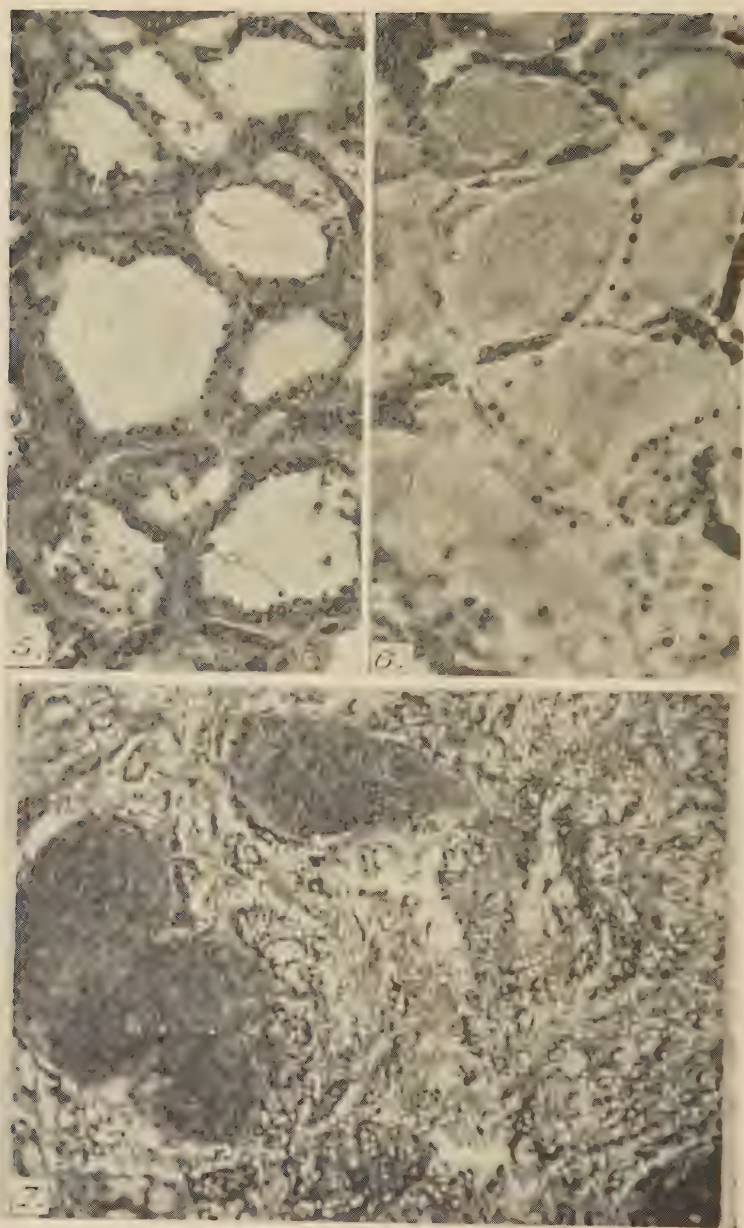


FIG. 24 et 25.

FIG. 24 (en bas). Historadiogramme de rate montrant des amas de bismuth introduit par voie veineuse sur le vivant.

FIG. 25 (en haut). Historadiogrammes de corps thyroïde, à gauche en 5 tissu normal, à droite en 6 après avoir enlevé l'iode de la coupe.

prenant une coupe de corps thyroïde et en faisant l'historadiogramme, on observe une certaine opacité des vésicules (5, figure 25), en traitant la coupe ensuite par un réactif chimique désiodiant, ces vésicules paraissent infiniment plus transparentes (6 figure 25).

Il y a certainement là un champ d'expérience immense et nouveau qui viendra apporter des renseignements d'ordre chimique plus vastes que les méthodes complémentaires de la coloration, comme les méthodes basées sur la fluorescence ou l'incinération.

On pourra de la même façon obtenir des opacifications vitales comme on obtient des colorations vitales. (fig. 24).

Enfin, l'étude des historadiogrammes pourra acquérir un degré de perfection encore plus poussé le jour où, par examens successifs, avec des faisceaux de rayons X monochromatiques, on pourra chercher à mettre en lumière les phénomènes d'absorption caractéristique. L'usage d'un monochromateur précis facilitera grandement la tâche. Connaissant les longueurs d'onde utilisées et le moment où se produira la discontinuité dans l'absorption, il sera possible de déterminer avec exactitude la nature du corps auquel on aura à faire. Notre instrumentation n'a pas été assez riche pour nous permettre ces recherches que nous aurions voulu pousser depuis longtemps et dont les résultats seront d'une parfaite exactitude.

Voici à notre avis comment il sera possible de procéder : supposons que nous voulions rechercher la présence de soufre par exemple dans un tissu ou dans une cellule. Nous rechercherons la valeur d'une longueur d'onde répondant à une absorption critique du soufre dans le domaine où nous travaillons, c'est-à-dire entre 12 Å et 1 Å, soit λ_s cette longueur d'onde, elle appartiendra sûrement à des niveaux d'énergie atomique les plus externes L, M ou N. Pour un faisceau de longueur d'onde ($\lambda_{s-\epsilon}$) nous serons placés un peu avant la discontinuité (fig. 26) c'est-à-dire en face d'une absorption relativement grande du soufre et un cliché radiographique obtenu avec cette radiation montrera pour les zones contenant des composés soufrés une

diminution appréciable du noircissement ; un second cliché de la même coupe obtenu avec un faisceau de longueur d'onde ($\lambda_s + \epsilon$) qui se trouve de l'autre côté de la discontinuité, c'est-à-dire dans une région où l'absorption a brusquement diminué, présentera un noircissement beaucoup plus important en face des zones contenant du soufre. Les deux radiographies ainsi obtenues et confrontées permettront donc d'affirmer la présence de soufre et de la localiser avec exactitude. L'avenir nous

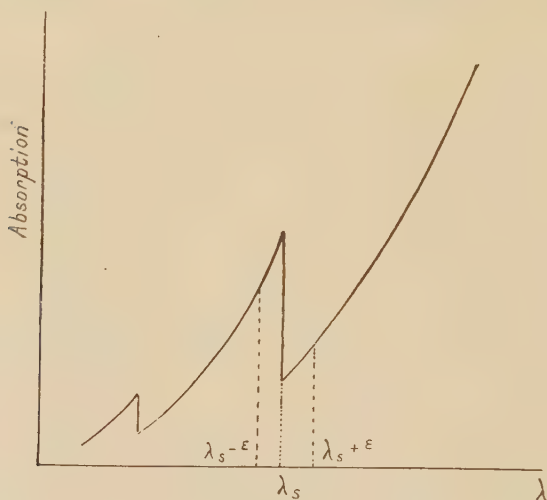


FIG. 26

dira si cette méthode présente une valeur pratique et a des possibilités. On pourrait procéder de la même façon en opérant simplement avec le fond continu et en étalant la partie intéressante sur la coupe à étudier.

Nous laissons de côté très certainement un grand nombre d'applications de l'historadiographie, mais le champ de celles que nous avons exposées est très vaste, d'autant que tout ce que nous avons dit peut intéresser non seulement le médecin légiste mais encore le zoologiste, le botaniste, le bactériologiste et le biologiste en général. Les applications ne s'arrêtent pas à la matière vivante, elles peuvent être encore étendues à la matière en général, chaque fois qu'il s'agira de faire une étude fine d'objets dont les dimensions seront de l'ordre microscopique.

En somme, comme nous l'avons dit au début de cet exposé notre méthode constitue dans le domaine d'utilisation des rayons X une liaison entre les méthodes macroscopiques qui sont représentées par la radiographie ordinaire dans ses applications médicales et industrielles et les méthodes des anneaux de diffraction qui ont pour but les études ultra-microscopiques des orientations moléculaires et des arrangements atomiques.

En terminant nous dirons qu'il est une question qui inquiète et passionne le biologiste, c'est celle de la radiosensibilité cellulaire. À quoi est due cette sensibilité très particulière de la matière vivante à l'égard des rayons de Roentgen ? Les radiations agissent-elles en vertu d'une propriété particulière qui dépend seulement de ce qui vit ? Cette propriété est-elle quelque chose complètement distinct de la matière inerte ou bien l'action est-elle simplement due à un phénomène physico-chimique entraînant dans les colloïdes vitaux un déséquilibre incompatible avec la vie ? Cette dernière supposition est admise en général par tous les biologistes et il semble bien qu'elle s'accorde avec les faits observés.

Si donc la radiosensibilité de la cellule est fonction de l'énergie absorbée, cette énergie sera d'autant plus grande que les tissus seront plus absorbants et par conséquent seront plus radiosensibles les cellules et les tissus les plus opaques aux rayons. L'étude comparative de l'opacité entre les cellules et les tissus devrait donc permettre de connaître par avance la radiosensibilité des éléments vivants les uns par rapport aux autres. Or on ne possède aucun moyen à l'heure actuelle pour déterminer sûrement par avance la sensibilité propre des tissus malades, des tumeurs en particulier. L'historadiographie deviendrait alors par le fait même une méthode intéressante permettant de prédire le comportement d'un tissu soumis aux irradiations et par suite de prévoir et de prescrire avec plus d'exactitude les doses thérapeutiques à appliquer.

Dans quelques historadiogrammes, il nous a semblé rencontrer déjà des éléments en faveur de notre hypothèse, nous avons trouvé dans certains cancers particulièrement radiosensibles

comme les cancers épithéliaux une opacité supérieure à celle des éléments d'une peau normale. L'avenir, après une expérimentation plus étroite et plus sérieuse, nous permettra de confirmer définitivement ou d'infirmer notre supposition.

Enfin si l'on admet que l'action des rayons sur la matière vivante est en réalité la conséquence de l'action mécanique du rayonnement γ secondaire qui prend surtout naissance au cours de l'absorption caractéristique par expulsion des électrons orbitaires, l'effet recul de Compton pouvait être négligé. Il y a lieu de penser que ce rayonnement sera plus intense autour des corps très absorbants qui sont précisément ceux pour lesquels les orbites répondront à un quantum d'énergie plus élevé.

La majeure partie des histologistes ont constaté que les premières radiolésions s'observaient sur le noyau, il est permis d'en conclure que c'est sur le noyau que les photo-électrons agissent tout d'abord, les corps les plus absorbants de la cellule se trouveraient donc soit dans le noyau lui-même soit tout près de lui. Or, sur quelques historadiogrammes nous avons constaté que le noyau était transparent et le nucléole opaque même très opaque, sur d'autres cellules au contraire nous avons trouvé seulement un noyau opaque. De toute façon, que ce soit le noyau lui-même ou le nucléole contenu dans le noyau, l'absorption maximum se ferait à leur niveau et ce serait bien là la partie sensible de la cellule.

Nous avons rencontré précisément des noyaux opaques dans des cellules cancéreuses et précancéreuses développées aux dépens de l'épiderme et il est de connaissance courante que ce sont là des cellules particulièrement radiosensibles.

Comme on nous l'a signalé déjà, ces remarques pourraient peut-être trouver un point de contact avec les très beaux travaux faits à l'Institut du radium de l'université de Paris par M. M. LACASSAGNE et HOLWECK (1) sur le problème des quanta en radiologie. C'est là une question qui mériterait d'être étudiée.

1) Archives de l'Institut du Radium de l'Université de Paris et de la fondation Curie. Volume III, fascicule 2 Décembre 1934. Les Presses Universitaires de France.

CONCLUSIONS

1) Les rayons X utilisés pour la radiographie des objets de dimensions perceptibles à l'œil nu l'étaient également pour l'étude de la matière à une échelle de dimension inférieure à celle des objets encore perceptibles au microscope. Jusqu'ici on n'avait pas utilisé les rayons de Roëntgen pour l'étude des corps qui ne peuvent être observés qu'à l'aide d'instruments grossissants très puissants. Le but de ce travail est de combler cette lacune,

2) Il est présentée une technique microradiographique plus spécialement destinée aux applications biologiques, comme l'étude de la cellule et nous l'avons désignée sous le nom d'historadiographie.

3) La méthode consiste à utiliser des rayons X très mous pour obtenir des radiographies de coupes cellulaires de quelques μ d'épaisseur.

4) Ces rayons étant trop absorbés par l'air, la radiographie est faite dans le vide. Il a été construit dans ce but un appareillage spécial constitué surtout par un tube de rayons X démontable dont il est donné une description détaillée.

5) La technique du vide et la mesure des basses pressions nécessaires au fonctionnement de l'appareil sont décrites.

6) Les radiographies obtenues devant être examinées au microscope, il est nécessaire d'employer des plaques sans grain. Il est donné différentes techniques de fabrication de ces plaques.

7) Les premiers résultats de l'historadiographie sont résumés. Il est donné un aperçu des possibilités futures de la méthode ; il est développé deux suggestions relatives à la radiosensibilité de la cellule vivante qui paraissent pouvoir trouver un appui sur quelques constatations relevées sur des historadiogrammes.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
INTRODUCTION.....	7
CHAPITRE I. — <i>Nature et Production des Rayons X utilisés</i>	
1) Réalisation du tube focus.....	13
2) Description du tube.....	20
3) Le pompage et le vide.....	26
4) La mesure du vide.....	39
5) L'Alimentation du tube.....	44
CHAPITRE II. — <i>L'émulsion radiographique</i>	
Sa réalisation.....	51
CHAPITRE III. — <i>Applications et résultats obtenus</i>	
1) Technique.....	59
2) Résultats de la méthode.....	66
3) Possibilités de la méthode.....	69
CONCLUSIONS.....	77

PLANCHE 1

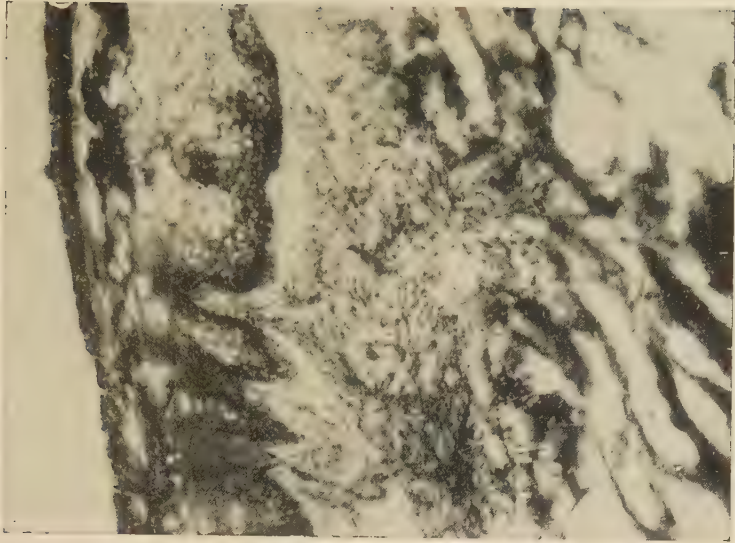


FIG. 1
Historadiogramme de peau normale, gros. 80 D

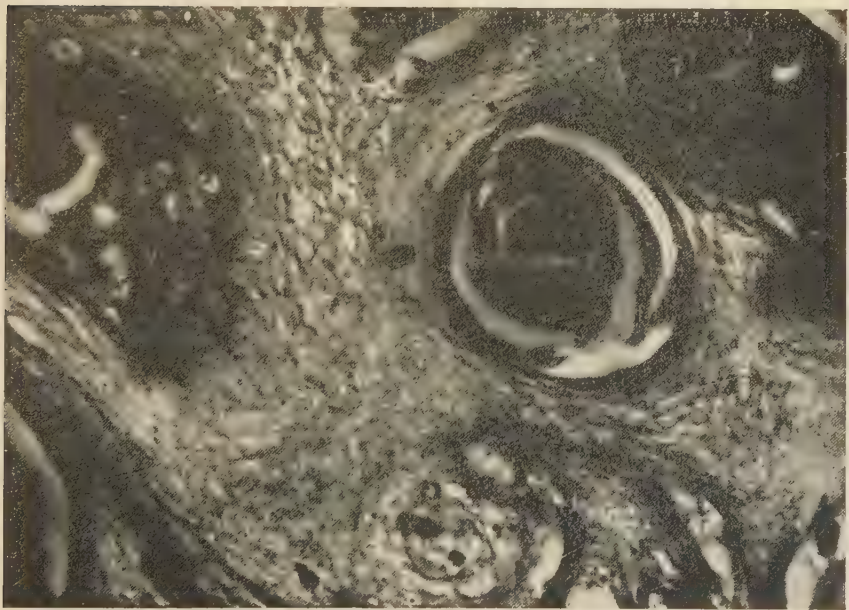


FIG. 2
Cancer malpighien. Image de globe corné.

PLANCHE 2

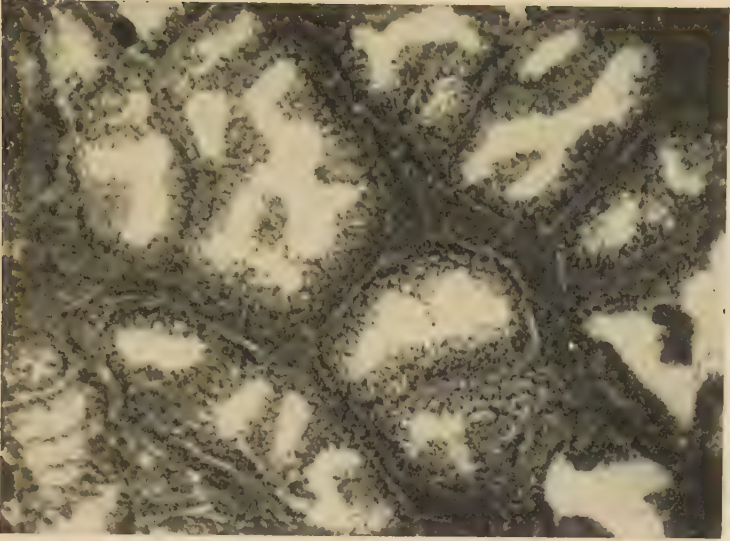


FIG. 1
Historadiogramme de prostate

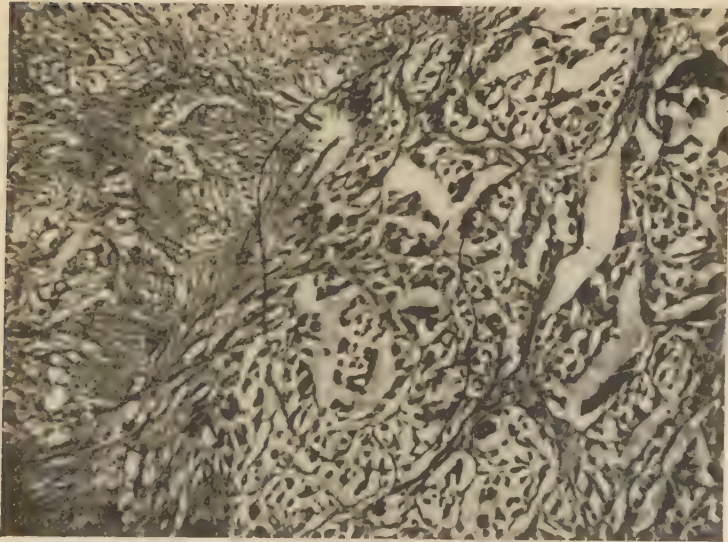


FIG. 2
Historadiogramme de muscles

PLANCHE 3

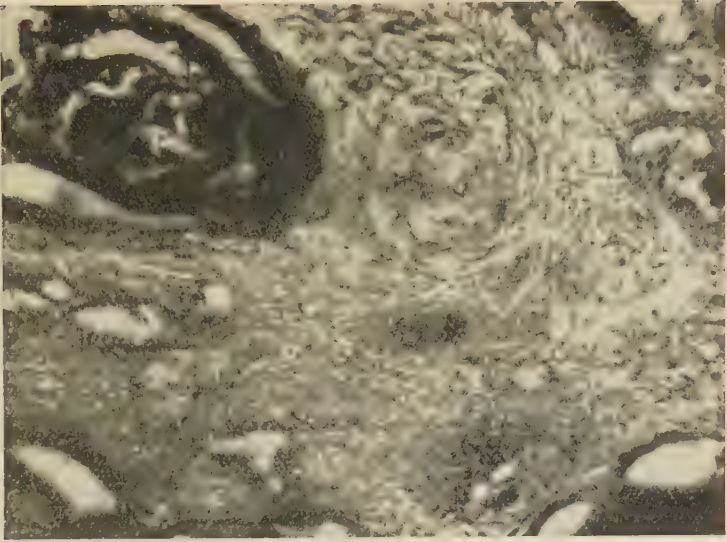


FIG. 1

Cancer malpighien

Différenciation entre un globe parakératosique dans le coin gauche en haut et un globe parakératosique immédiatement à sa droite.

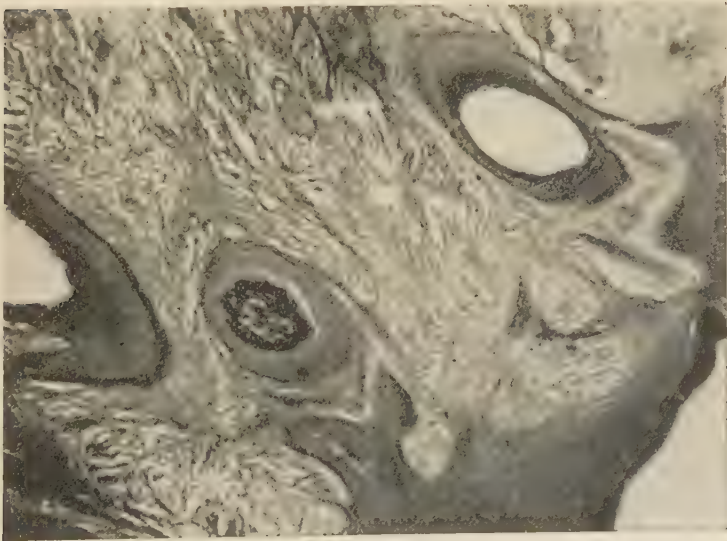


FIG. 2

Historadiogramme de bulbes pileux

PLANCHE 4

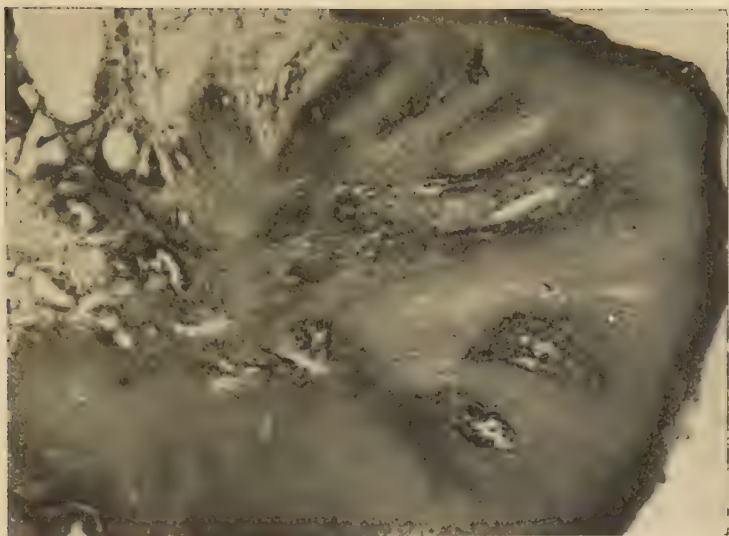


FIG. 1
Historadiogramme d'un papillome

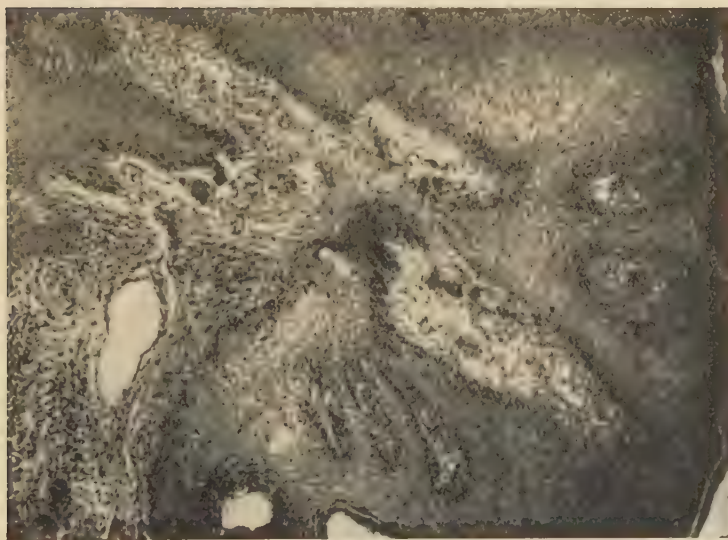


FIG. 2
Microphotographie de la même coupe après coloration.

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

L'analyse chimique des corps par les rayons X.

VU ET APPROUVÉ :
Montpellier le 30 Juin 1937.

*Le Doyen de la Faculté
des Sciences :*
Marcel GODECHOT.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER :
Montpellier le 1^{er} Juillet 1937.

Le Recteur :
TAILLIART.
